# CAPITULO V

5. Análisis de las variables

* 1. Introducción

En este capítulo voy a realizar predicciones de los resultados arrojados por la aplicación que he desarrollado, algoritmos genéticos – modelo poblacional, y a compararlos con los mismos. Estas predicciones las haré basándome en los modelos clásicos de crecimiento poblacional, recordando que el crecimiento poblacional está dado por la diferencia de los índices de natalidad y mortalidad.

* 1. **Análisis de los resultados de la aplicación: Algoritmos genéticos – modelo poblacional.**

Para todas las siguientes ejecuciones, trabajaré con la configuración del límite de la población w=80, y con un intervalo de fecundidad desde los 15 hasta los 44 años de edad, tanto en hombres como en mujeres, aunque luego haré variar estos parámetros. Utilizaré también 25 iteraciones, en las que debe crecer o decrecer la población. Mostraré entonces la tabla de resultados obtenidos, y el gráfico de los años en las abscisas, y en las ordenadas el tamaño de la población. Trabajaré con 100 hombres y 100 mujeres como tamaño inicial de la población, y observaré el comportamiento de la curva, haciendo variar el número de hijos.

Lo que nos interesa es realizar comparaciones entre los métodos de crossover en un punto y crossover uniforme, así como la mutación en un punto y la mutación uniforme, ya que estos son los operadores básicos del algoritmo genético básico. De igual manera, es interesante comparar los resultados obtenidos con una configuración con elitismo y otra sin elitismo, ya que el elitismo garantiza una mejor aptitud de los individuos en un menor número de iteraciones. Podría ser también al exigir o no exigir mutación, ya que esto provoca una aptitud más aleatoria. Finalmente saber si varía utilizando el método de la rueda de la ruleta o el del torneo para llevar a cabo la selección. De este modo podremos observar el comportamiento de la función de aptitud, y por consiguiente encontraremos un crecimiento o decrecimiento de la población.

Inicialmente realizaré una configuración del modelo poblacional, ajustando los datos a una población que desea mantenerse estable o que decrezca, esto es, que tengan un número promedio de 2 hijos; pero posteriormente, cambiaré el número de hijos de dos a un cuatro, de tal manera que la población tenga un ligero crecimiento, con esto trataré de comprobar que la población aumenta al aumentar el número promedio de hijos, mientras que podría disminuir si reducimos el intervalo de edades de reproducción, ya que en este caso no damos oportunidad a las personas a tener el número deseado de hijos, o si disminuimos el w de la edad límite de vida, a que estaríamos hablando de una población que muere a una edad temprana.

**Considerando dos hijos**

En una población con solamente dos hijos, debe mantenerse el tamaño de la población, aunque en realidad crecerá y decrecerá hasta estabilizarse, de tal manera que los dos hijos reemplacen a sus padres. Aunque las variaciones se darán debido a que este modelo algorítmico considera el sexo de los individuos como una variable importante.

**Crossover**

Primero realizaré dos ejecuciones comparando el crossover en un punto y el crossover uniforme, ambos con mutación en un solo punto, y con el modelo de selección de la rueda de la ruleta, y la primera tabla será comparada con las demás.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Hombres | Mujeres | Total | Crecimiento | M. Aptitud | Aptitud P. |
| 1 | 90 | 95 | 185 | +0.000000 | 0.058356 | 0.040578 |
| 2 | 103 | 107 | 210 | +0.135135 | 0.054772 | 0.037193 |
| 3 | 115 | 122 | 237 | +0.128571 | 0.051558 | 0.035018 |
| 4 | 116 | 122 | 238 | +0.004219 | 0.051450 | 0.034972 |
| 5 | 115 | 117 | 232 | -0.025210 | 0.052111 | 0.035281 |
| 6 | 113 | 115 | 228 | -0.017241 | 0.052566 | 0.035391 |
| 7 | 111 | 111 | 222 | -0.026316 | 0.053271 | 0.035625 |
| 8 | 110 | 108 | 218 | -0.018018 | 0.053758 | 0.035825 |
| 9 | 109 | 107 | 216 | -0.009174 | 0.054006 | 0.036091 |
| 10 | 108 | 107 | 215 | -0.004630 | 0.054132 | 0.036153 |
| 11 | 106 | 105 | 211 | -0.018605 | 0.054642 | 0.036421 |
| 12 | 105 | 104 | 209 | -0.009479 | 0.054903 | 0.036435 |
| 13 | 100 | 100 | 200 | -0.043062 | 0.056125 | 0.037119 |
| 14 | 99 | 96 | 195 | -0.025000 | 0.056840 | 0.037295 |
| 15 | 98 | 94 | 192 | -0.015385 | 0.057282 | 0.037557 |
| 16 | 97 | 90 | 187 | -0.026042 | 0.058043 | 0.037929 |
| 17 | 97 | 86 | 183 | -0.021390 | 0.058674 | 0.038002 |
| 18 | 94 | 85 | 179 | -0.021858 | 0.059326 | 0.038433 |
| 19 | 93 | 85 | 178 | -0.005587 | 0.059492 | 0.038702 |
| 20 | 95 | 89 | 184 | +0.033708 | 0.058514 | 0.038122 |
| 21 | 90 | 88 | 178 | -0.032609 | 0.059492 | 0.038389 |
| 22 | 90 | 86 | 176 | -0.011236 | 0.059829 | 0.038334 |
| 23 | 87 | 81 | 168 | -0.045455 | 0.061237 | 0.039388 |
| 24 | 83 | 80 | 163 | -0.029762 | 0.062169 | 0.039743 |
| 25 | 80 | 76 | 156 | -0.042945 | 0.063549 | 0.040872 |
| *Promedio* | *100.16* | *98.24* | *198.40* | *-0.005895* | *0.056644* | *0.037395* |

***Tabla de la simulación con dos hijos, crossover en un punto, mutación en un punto, selección con el método de la rueda de la ruleta, sin elitismo, sin exigir mutación.***

***Tabla III***

En esta ejecución se tuvo un decrecimiento promedio del 0,59% en 25 años, lo que es relativamente poco, y sería un decrecimiento bastante bueno en caso de querer disminuir la población.

***Tamaño poblacional de la primera simulación con dos hijos***

***Figura 5.1***

Entonces se cumple el supuesto de decrecimiento al utilizar únicamente dos hijos en promedio, y notamos que a medida que la población decrece, la aptitud promedio de la misma aumenta, es decir que aumentan los recursos para cada individuo de la población.

En la siguiente ejecución, utilicé crossover uniforme:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Hombres | Mujeres | Total | Crecimiento | M. Aptitud | Aptitud P. |
| 1 | 88 | 91 | 179 | +0.000000 | 0.059326 | 0.039388 |
| 2 | 108 | 102 | 210 | +0.173184 | 0.054772 | 0.036617 |
| 3 | 127 | 117 | 244 | +0.161905 | 0.050813 | 0.033805 |
| 4 | 124 | 114 | 238 | -0.024590 | 0.05145 | 0.034243 |
| 5 | 120 | 111 | 231 | -0.029412 | 0.052223 | 0.035216 |
| 6 | 119 | 108 | 227 | -0.017316 | 0.052681 | 0.035312 |
| 7 | 118 | 103 | 221 | -0.026432 | 0.053392 | 0.036021 |
| 8 | 117 | 99 | 216 | -0.022624 | 0.054006 | 0.036316 |
| 9 | 116 | 97 | 213 | -0.013889 | 0.054385 | 0.036505 |
| 10 | 114 | 93 | 207 | -0.028169 | 0.055168 | 0.036784 |
| 11 | 107 | 90 | 197 | -0.048309 | 0.056551 | 0.037315 |
| 12 | 106 | 87 | 193 | -0.020305 | 0.057134 | 0.037560 |
| 13 | 104 | 84 | 188 | -0.025907 | 0.057888 | 0.038090 |
| 14 | 102 | 83 | 185 | -0.015957 | 0.058356 | 0.038450 |
| 15 | 98 | 79 | 177 | -0.043243 | 0.059660 | 0.039555 |
| 16 | 96 | 76 | 172 | -0.028249 | 0.060521 | 0.039973 |
| 17 | 94 | 75 | 169 | -0.017442 | 0.061056 | 0.040282 |
| 18 | 86 | 74 | 160 | -0.053254 | 0.062750 | 0.041630 |
| 19 | 85 | 72 | 157 | -0.018750 | 0.063346 | 0.041812 |
| 20 | 85 | 73 | 158 | +0.006369 | 0.063145 | 0.041949 |
| 21 | 85 | 76 | 161 | +0.018987 | 0.062554 | 0.042262 |
| 22 | 83 | 75 | 158 | -0.018634 | 0.063145 | 0.042645 |
| 23 | 80 | 69 | 149 | -0.056962 | 0.065025 | 0.044097 |
| 24 | 77 | 65 | 142 | -0.046980 | 0.066608 | 0.045289 |
| 25 | 74 | 61 | 135 | -0.049296 | 0.068313 | 0.046268 |
| *Promedio* | *100.52* | *86.96* | *187.48* | *-0.009811* | *0.058571* | *0.039095* |

***Tabla de la simulación con dos hijos, crossover uniforme, mutación en un punto, selección con el método de la rueda de la ruleta, sin elitismo, sin exigir mutación.***

**Tabla IV**

El decrecimiento promedio es de 0.98%, lo que realmente es aceptable, si lo que se desea es disminuir la población o mantenerla, ya que el número inicial fue 179 individuos y el número al final de la simulación fue 135 individuos.

***Tamaño poblacional de la segunda simulación con dos hijos***

***Figura 5.2***

Al parecer no afecta en nada el tipo de crossover que se utiliza, aunque en realidad, esto hace que para cada individuo seleccionado, o par de individuos seleccionados en este caso, se busque la posibilidad de crear uno nuevo, con una aptitud mayor, debido a lo aleatorio del crossover.

**Mutación**

La mutación es un operador genético de baja probabilidad, por lo que espero que los resultados obtenidos sean similares a los de la primera simulación en la Tabla III, por lo que seguramente no se realiza, excepto en unas cuantas iteraciones. Cambiaré la mutación de un punto a la mutación uniforme, y observaremos los resultados en la siguiente tabla.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Hombres | Mujeres | Total | Crecimiento | M. Aptitud | Aptitud P. |
| 1 | 94 | 90 | 184 | +0.000000 | 0.058514 | 0.039127 |
| 2 | 108 | 105 | 213 | +0.157609 | 0.054385 | 0.036104 |
| 3 | 120 | 122 | 242 | +0.136150 | 0.051023 | 0.033324 |
| 4 | 119 | 121 | 240 | -0.008264 | 0.051235 | 0.033632 |
| 5 | 118 | 119 | 237 | -0.012500 | 0.051558 | 0.033803 |
| 6 | 117 | 117 | 234 | -0.012658 | 0.051887 | 0.034088 |
| 7 | 115 | 116 | 231 | -0.012821 | 0.052223 | 0.034221 |
| 8 | 113 | 113 | 226 | -0.021645 | 0.052798 | 0.034673 |
| 9 | 110 | 108 | 218 | -0.035398 | 0.053758 | 0.035484 |
| 10 | 107 | 107 | 214 | -0.018349 | 0.054258 | 0.035684 |
| 11 | 105 | 105 | 210 | -0.018692 | 0.054772 | 0.035978 |
| 12 | 104 | 103 | 207 | -0.014286 | 0.055168 | 0.036037 |
| 13 | 102 | 96 | 198 | -0.043478 | 0.056408 | 0.036980 |
| 14 | 98 | 94 | 192 | -0.030303 | 0.057282 | 0.037340 |
| 15 | 96 | 92 | 188 | -0.020833 | 0.057888 | 0.037600 |
| 16 | 92 | 87 | 179 | -0.047872 | 0.059326 | 0.038443 |
| 17 | 83 | 86 | 169 | -0.055866 | 0.061056 | 0.039217 |
| 18 | 86 | 89 | 175 | +0.035503 | 0.060000 | 0.038329 |
| 19 | 85 | 90 | 175 | +0.000000 | 0.060000 | 0.038229 |
| 20 | 85 | 91 | 176 | +0.005714 | 0.059829 | 0.038159 |
| 21 | 86 | 90 | 176 | +0.000000 | 0.059829 | 0.038574 |
| 22 | 83 | 87 | 170 | -0.034091 | 0.060876 | 0.039095 |
| 23 | 81 | 83 | 164 | -0.035294 | 0.061980 | 0.039709 |
| 24 | 79 | 82 | 161 | -0.018293 | 0.062554 | 0.040373 |
| 25 | 74 | 81 | 155 | -0.037267 | 0.063754 | 0.041223 |
| *Promedio* | *98.4* | *98.96* | *197.36* | *-0.005717* | *0.056894* | *0.037017* |

***Tabla de la simulación con dos hijos, crossover en un punto, mutación uniforme, selección con el método de la rueda de la ruleta, sin elitismo, sin exigir mutación.***

***Tabla V***

El decrecimiento fue en promedio del 0.571%, y el número de personas inicial fue 184 contra 155 que se obtuvo como número final. Son valores bastante buenos para nuestros propósitos de mantener la población.

***Tamaño poblacional de la tercera simulación con dos hijos***

***Figura 5.3***

En la ejecución utilizando mutación uniforme, se obtuvieron resultados similares a los de la tabla III, donde la mutación se escogía en un solo punto, como ya mencioné, esto se debe a la baja probabilidad de este operador.

**Elitismo**

Ahora mostraré una comparación entre utilizar y el no utilizar elitismo. El elitismo es un operador de selección, que mantiene el estado sin cambiar la aptitud de los más aptos. Para ello escogeré las mismas opciones de crossover y mutación en un solo punto, con las mismas probabilidades.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Hombres | Mujeres | Total | Crecimiento | M. Aptitud | Aptitud P. |
| 1 | 94 | 92 | 186 | +0.000000 | 0.058199 | 0.038292 |
| 2 | 111 | 107 | 218 | +0.172043 | 0.053758 | 0.035197 |
| 3 | 124 | 118 | 242 | +0.110092 | 0.051023 | 0.033592 |
| 4 | 122 | 116 | 238 | -0.016529 | 0.051450 | 0.034059 |
| 5 | 120 | 113 | 233 | -0.021008 | 0.051999 | 0.034289 |
| 6 | 117 | 110 | 227 | -0.025751 | 0.052681 | 0.034622 |
| 7 | 113 | 107 | 220 | -0.030837 | 0.053513 | 0.035236 |
| 8 | 110 | 106 | 216 | -0.018182 | 0.054006 | 0.035457 |
| 9 | 109 | 104 | 213 | -0.013889 | 0.054385 | 0.035607 |
| 10 | 104 | 102 | 206 | -0.032864 | 0.055301 | 0.036658 |
| 11 | 103 | 100 | 203 | -0.014563 | 0.055709 | 0.036862 |
| 12 | 102 | 92 | 194 | -0.044335 | 0.056986 | 0.037813 |
| 13 | 100 | 87 | 187 | -0.036082 | 0.058043 | 0.038372 |
| 14 | 97 | 84 | 181 | -0.032086 | 0.058997 | 0.038899 |
| 15 | 93 | 81 | 174 | -0.038674 | 0.060172 | 0.039653 |
| 16 | 91 | 79 | 170 | -0.022989 | 0.060876 | 0.040009 |
| 17 | 87 | 76 | 163 | -0.041176 | 0.062169 | 0.040732 |
| 18 | 87 | 75 | 162 | -0.006135 | 0.062361 | 0.040807 |
| 19 | 86 | 73 | 159 | -0.018519 | 0.062947 | 0.041449 |
| 20 | 82 | 69 | 151 | -0.050314 | 0.064592 | 0.042681 |
| 21 | 82 | 68 | 150 | -0.006623 | 0.064807 | 0.042705 |
| 22 | 81 | 65 | 146 | -0.026667 | 0.065689 | 0.044333 |
| 23 | 79 | 64 | 143 | -0.020548 | 0.066375 | 0.044821 |
| 24 | 76 | 62 | 138 | -0.034965 | 0.067566 | 0.045627 |
| 25 | 74 | 57 | 131 | -0.050725 | 0.069348 | 0.046883 |
| *Promedio* | *97.76* | *88.28* | *186.04* | *-0.012853* | *0.058918* | *0.038986* |

***Tabla de la simulación con dos hijos, crossover en un punto, mutación en un punto, selección con el método de la rueda de la ruleta, con elitismo, sin exigir mutación.***

***Tabla VI***

El decrecimiento promedio es del orden del 1.28%, que ya es un poco alto. Además el número inicial de 186 individuos a disminuido a 131, y la población podría desaparecer en un momento determinado.

***Tamaño poblacional de la cuarta simulación con dos hijos***

***Figura 5.4***

Al utilizar el elitismo, la población se observa un decrecimiento mayor que al no utilizarlo, esto es por la forma de escoger los padres, o sea por no seleccionar a los individuos más aptos, para el crossover.

**Exigir mutación**

Debe recordarse que la exigencia de la mutación hace que se realice la mutación en cada uno de los individuos, en cada una de las iteraciones, sin importar la probabilidad ingresada para la mutación.

Utilizaré como referencia la Tabla III de la primera simulación, en la que no se exige la mutación, y luego veamos en la Tabla VII lo que sucede cuando exigimos la mutación para cada iteración.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Hombres | Mujeres | Total | Crecimiento | M. Aptitud | Aptitud P. |
| 1 | 99 | 94 | 193 | +0.000000 | 0.057134 | 0.039151 |
| 2 | 121 | 104 | 225 | +0.165803 | 0.052915 | 0.035687 |
| 3 | 120 | 102 | 222 | -0.013333 | 0.053271 | 0.035804 |
| 4 | 116 | 100 | 216 | -0.027027 | 0.054006 | 0.036441 |
| 5 | 112 | 95 | 207 | -0.041667 | 0.055168 | 0.037477 |
| 6 | 111 | 93 | 204 | -0.014493 | 0.055572 | 0.037784 |
| 7 | 106 | 92 | 198 | -0.029412 | 0.056408 | 0.038255 |
| 8 | 104 | 89 | 193 | -0.025253 | 0.057134 | 0.038785 |
| 9 | 101 | 84 | 185 | -0.041451 | 0.058356 | 0.039593 |
| 10 | 99 | 82 | 181 | -0.021622 | 0.058997 | 0.040299 |
| 11 | 93 | 79 | 172 | -0.049724 | 0.060521 | 0.041447 |
| 12 | 89 | 78 | 167 | -0.029070 | 0.061420 | 0.041936 |
| 13 | 87 | 77 | 164 | -0.017964 | 0.061980 | 0.042209 |
| 14 | 84 | 76 | 160 | -0.024390 | 0.062750 | 0.042586 |
| 15 | 83 | 74 | 157 | -0.018750 | 0.063346 | 0.042893 |
| 16 | 81 | 73 | 154 | -0.019108 | 0.063960 | 0.043086 |
| 17 | 77 | 69 | 146 | -0.051948 | 0.065689 | 0.044289 |
| 18 | 71 | 65 | 136 | -0.068493 | 0.068061 | 0.045311 |
| 19 | 68 | 62 | 130 | -0.044118 | 0.069614 | 0.046280 |
| 20 | 64 | 57 | 121 | -0.069231 | 0.072157 | 0.047716 |
| 21 | 61 | 55 | 116 | -0.041322 | 0.073696 | 0.048862 |
| 22 | 59 | 53 | 112 | -0.034483 | 0.075000 | 0.049430 |
| 23 | 57 | 51 | 108 | -0.035714 | 0.076376 | 0.050370 |
| 24 | 56 | 50 | 106 | -0.018519 | 0.077093 | 0.050643 |
| 25 | 54 | 47 | 101 | -0.047170 | 0.078979 | 0.051797 |
| *Promedio* | *86.92* | *76.04* | *162.96* | *-0.024738* | *0.063584* | *0.042725* |

***Tabla de la simulación con dos hijos, crossover en un punto, mutación en un punto, selección con el método de la rueda de la ruleta, sin elitismo y exigiendo la mutación.***

***Tabla VII***

Es notable como la población ha decrecido desde los 193 individuos iniciales hasta los 101 individuos de la última iteración. Debe recordarse que no se debe abusar del operador de la mutación y debe observarse un alto porcentaje de decrecimiento en la población, que en promedio es del 2.4%, lo que indica una baja tasa de natalidad o una alta tasa de mortalidad, y es realmente un decrecimiento acelerado.

***Tamaño poblacional de la quinta simulación con dos hijos***

***Figura 5.5***

**Selección**

Ahora cambiaré del método de selección de la rueda de la ruleta que utilizamos en la Tabla # III que corresponde a la primera simulación y veamos en la Tabla VIII lo que sucede cuando aplicamos el modelo de selección del torneo.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Hombres | Mujeres | Total | Crecimiento | M. Aptitud | Aptitud P. |
| 1 | 96 | 92 | 188 | +0.000000 | 0.057888 | 0.039062 |
| 2 | 113 | 106 | 219 | +0.164894 | 0.053635 | 0.036059 |
| 3 | 117 | 110 | 227 | +0.036530 | 0.052681 | 0.035627 |
| 4 | 118 | 108 | 226 | -0.004405 | 0.052798 | 0.035539 |
| 5 | 116 | 106 | 222 | -0.017699 | 0.053271 | 0.035821 |
| 6 | 115 | 104 | 219 | -0.013514 | 0.053635 | 0.035987 |
| 7 | 114 | 102 | 216 | -0.013699 | 0.054006 | 0.036200 |
| 8 | 111 | 100 | 211 | -0.023148 | 0.054642 | 0.036497 |
| 9 | 105 | 99 | 204 | -0.033175 | 0.055572 | 0.037117 |
| 10 | 102 | 97 | 199 | -0.024510 | 0.056266 | 0.037726 |
| 11 | 101 | 94 | 195 | -0.020101 | 0.056840 | 0.038188 |
| 12 | 98 | 92 | 190 | -0.025641 | 0.057583 | 0.038785 |
| 13 | 93 | 91 | 184 | -0.031579 | 0.058514 | 0.039696 |
| 14 | 87 | 87 | 174 | -0.054348 | 0.060172 | 0.040508 |
| 15 | 86 | 82 | 168 | -0.034483 | 0.061237 | 0.041136 |
| 16 | 82 | 77 | 159 | -0.053571 | 0.062947 | 0.042067 |
| 17 | 78 | 76 | 154 | -0.031447 | 0.063960 | 0.042502 |
| 18 | 75 | 72 | 147 | -0.045455 | 0.065465 | 0.043669 |
| 19 | 76 | 74 | 150 | +0.020408 | 0.064807 | 0.043641 |
| 20 | 76 | 74 | 150 | +0.000000 | 0.064807 | 0.043304 |
| 21 | 75 | 77 | 152 | +0.013333 | 0.064380 | 0.042153 |
| 22 | 76 | 74 | 150 | -0.013158 | 0.064807 | 0.042900 |
| 23 | 73 | 72 | 145 | -0.033333 | 0.065915 | 0.043756 |
| 24 | 72 | 72 | 144 | -0.006897 | 0.066144 | 0.044250 |
| 25 | 69 | 68 | 137 | -0.048611 | 0.067813 | 0.045014 |
| *Promedio* | *92.96* | *88.24* | *181.20* | *-0.011744* | *0.059591* | *0.039888* |

***Tabla de la simulación con dos hijos, crossover en un punto, mutación en un punto, selección con el método del torneo, sin elitismo y sin exigir la mutación.***

***Tabla VIII***

Realmente en el método del torneo existe una mayor aleatoriedad, ya que no es proporcional a la aptitud de los individuos, sino que lo hace prácticamente de manera aleatoria uniforme.

***Tamaño poblacional de la sexta simulación con dos hijos***

***Figura 5.6***

Es notable que la población ha decrecido en promedio en 1.17%, y esto es por la forma de selección que utiliza el método del torneo, de tal manera, que el tamaño promedio de la población quedó atrás hace mucho, entre la iteración # 12 y la # 13. Además se puede observar que el comportamiento de la mejor aptitud y de la aptitud promedio es diferente, ya que la mejor aptitud está muy por encima de la aptitud promedio. Otro detalle que debe observarse es la forma como cambia la curva en el gráfico, a diferencia de todos los anteriores.

**Considerando cuatro hijos**

**Crossover**

Realizaré dos ejecuciones comparando el crossover en un punto y el crossover uniforme.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Hombres | Mujeres | Total | Crecimiento | M. Aptitud | Aptitud P. |
| 1 | 91 | 86 | 177 | +0.000000 | 0.059660 | 0.040950 |
| 2 | 118 | 119 | 237 | +0.338983 | 0.051558 | 0.034650 |
| 3 | 145 | 149 | 294 | +0.240506 | 0.046291 | 0.031230 |
| 4 | 153 | 156 | 309 | +0.051020 | 0.045153 | 0.030684 |
| 5 | 155 | 157 | 312 | +0.009709 | 0.044936 | 0.030518 |
| 6 | 152 | 155 | 307 | -0.016026 | 0.045300 | 0.030744 |
| 7 | 150 | 153 | 303 | -0.013029 | 0.045598 | 0.031045 |
| 8 | 149 | 151 | 300 | -0.009901 | 0.045826 | 0.031231 |
| 9 | 145 | 148 | 293 | -0.023333 | 0.046370 | 0.031631 |
| 10 | 144 | 143 | 287 | -0.020478 | 0.046852 | 0.031909 |
| 11 | 142 | 142 | 284 | -0.010453 | 0.047099 | 0.032093 |
| 12 | 140 | 138 | 278 | -0.021127 | 0.047604 | 0.032589 |
| 13 | 137 | 135 | 272 | -0.021583 | 0.048127 | 0.032840 |
| 14 | 136 | 134 | 270 | -0.007353 | 0.048305 | 0.032935 |
| 15 | 134 | 133 | 267 | -0.011111 | 0.048575 | 0.033078 |
| 16 | 131 | 130 | 261 | -0.022472 | 0.049130 | 0.033687 |
| 17 | 140 | 138 | 278 | +0.065134 | 0.047604 | 0.032056 |
| 18 | 134 | 133 | 267 | -0.039568 | 0.048575 | 0.032870 |
| 19 | 140 | 145 | 285 | +0.067416 | 0.047016 | 0.031447 |
| 20 | 153 | 158 | 311 | +0.091228 | 0.045008 | 0.030307 |
| 21 | 166 | 177 | 343 | +0.102894 | 0.042857 | 0.028685 |
| 22 | 177 | 182 | 359 | +0.046647 | 0.041891 | 0.027988 |
| 23 | 183 | 186 | 369 | +0.027855 | 0.041320 | 0.027655 |
| 24 | 182 | 184 | 366 | -0.008130 | 0.041489 | 0.027640 |
| 25 | 178 | 178 | 356 | -0.027322 | 0.042067 | 0.028006 |
| *Promedio* | *147.00* | *148.40* | *295.40* | *+0.031580* | *0.046568* | *0.031539* |

***Tabla de la simulación con cuatro hijos, crossover en un punto, mutación en un punto, selección con el método de la rueda de la ruleta, sin elitismo, sin exigir mutación.***

***Tabla IX***

Debe notarse que la población continuará creciendo indefinidamente. En esta ejecución se tuvo un crecimiento promedio del 3,15% en 25 años.

***Tamaño poblacional de la primera simulación con cuatro hijos***

***Figura 5.7***

Notamos que a medida que la población crece, la aptitud promedio de la misma disminuye, es decir que aumentan los recursos para cada individuo de la población.

En la siguiente ejecución, utilicé crossover uniforme, y continué utilizando el modelo de selección de la rueda de la ruleta, y la mutación en un solo punto y obtuve los siguientes resultados.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Hombres | Mujeres | Total | Crecimiento | M. Aptitud | Aptitud P. |
| 1 | 96 | 92 | 188 | +0.000000 | 0.057888 | 0.039629 |
| 2 | 119 | 124 | 243 | +0.292553 | 0.050918 | 0.034715 |
| 3 | 150 | 153 | 303 | +0.246914 | 0.045598 | 0.031385 |
| 4 | 167 | 161 | 328 | +0.082508 | 0.043826 | 0.030310 |
| 5 | 171 | 160 | 331 | +0.009146 | 0.043627 | 0.030233 |
| 6 | 167 | 157 | 324 | -0.021148 | 0.044096 | 0.030599 |
| 7 | 163 | 153 | 316 | -0.024691 | 0.044651 | 0.030885 |
| 8 | 161 | 151 | 312 | -0.012658 | 0.044936 | 0.031072 |
| 9 | 158 | 150 | 308 | -0.012821 | 0.045227 | 0.031248 |
| 10 | 157 | 149 | 306 | -0.006494 | 0.045374 | 0.031268 |
| 11 | 154 | 144 | 298 | -0.026144 | 0.045979 | 0.031695 |
| 12 | 152 | 143 | 295 | -0.010067 | 0.046212 | 0.031782 |
| 13 | 148 | 137 | 285 | -0.033898 | 0.047016 | 0.032204 |
| 14 | 144 | 134 | 278 | -0.024561 | 0.047604 | 0.032501 |
| 15 | 140 | 129 | 269 | -0.032374 | 0.048394 | 0.033070 |
| 16 | 137 | 124 | 261 | -0.029740 | 0.049130 | 0.033516 |
| 17 | 140 | 128 | 268 | +0.026820 | 0.048484 | 0.032921 |
| 18 | 153 | 141 | 294 | +0.097015 | 0.046291 | 0.031709 |
| 19 | 171 | 167 | 338 | +0.149660 | 0.043173 | 0.029403 |
| 20 | 180 | 179 | 359 | +0.062130 | 0.041891 | 0.028623 |
| 21 | 191 | 194 | 385 | +0.072423 | 0.040452 | 0.027805 |
| 22 | 205 | 220 | 425 | +0.103896 | 0.038501 | 0.026411 |
| 23 | 205 | 224 | 429 | +0.009412 | 0.038321 | 0.026142 |
| 24 | 203 | 222 | 425 | -0.009324 | 0.038501 | 0.026391 |
| 25 | 199 | 220 | 419 | -0.014118 | 0.038776 | 0.026492 |
| *Promedio* | *161.24* | *158.24* | *319.48* | *+0.035778* | *0.044995* | *0.030880* |

***Tabla de la simulación con cuatro hijos, crossover uniforme, mutación en un punto, selección con el método de la rueda de la ruleta, sin elitismo, sin exigir mutación.***

***Tabla X***

El crecimiento poblacional utilizando el crossover de tipo uniforme es casi el mismo, es decir 3.57%, aunque el comportamiento de la curva en la gráfica fue un poco diferente al de utilizar crossover en un punto.

***Tamaño poblacional de la segunda simulación con cuatro hijos***

***Figura 5.8***

Realizar la misma comparación utilizando una mutación de tipo uniforme, no alteraría mayormente los resultados, ya que el proceso de la mutación recibe una muy pequeña probabilidad, que extrañamente se cumplirá.

**Elitismo**

Ahora mostraré una comparación entre el utilizar y el no utilizar elitismo. Para ello escogeré las mismas opciones de crossover y mutación en un solo punto, con las mismas probabilidades, y utilizaré la misma configuración utilizada hasta ahora para el modelo poblacional.

La Tabla sin elitismo es la Tabla IX de la primera simulación con cuatro hijos, y a continuación muestro en la Tabla XI la configuración con elitismo.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Hombres | Mujeres | Total | Crecimiento | M. Aptitud | Aptitud P. |
| 1 | 89 | 91 | 180 | +0.000000 | 0.059161 | 0.037984 |
| 2 | 116 | 125 | 241 | +0.338889 | 0.051128 | 0.033524 |
| 3 | 147 | 147 | 294 | +0.219917 | 0.046291 | 0.030435 |
| 4 | 155 | 160 | 315 | +0.071429 | 0.044721 | 0.029227 |
| 5 | 154 | 159 | 313 | -0.006349 | 0.044864 | 0.029223 |
| 6 | 152 | 157 | 309 | -0.012780 | 0.045153 | 0.029317 |
| 7 | 150 | 156 | 306 | -0.009709 | 0.045374 | 0.029514 |
| 8 | 149 | 152 | 301 | -0.016340 | 0.045750 | 0.029830 |
| 9 | 146 | 151 | 297 | -0.013289 | 0.046057 | 0.030105 |
| 10 | 143 | 149 | 292 | -0.016835 | 0.046449 | 0.030314 |
| 11 | 139 | 147 | 286 | -0.020548 | 0.046934 | 0.030478 |
| 12 | 135 | 145 | 280 | -0.020979 | 0.047434 | 0.030574 |
| 13 | 133 | 144 | 277 | -0.010714 | 0.047690 | 0.030765 |
| 14 | 130 | 141 | 271 | -0.021661 | 0.048215 | 0.031047 |
| 15 | 126 | 137 | 263 | -0.029520 | 0.048943 | 0.031470 |
| 16 | 123 | 135 | 258 | -0.019011 | 0.049415 | 0.031666 |
| 17 | 119 | 140 | 259 | +0.003876 | 0.049320 | 0.031598 |
| 18 | 121 | 148 | 269 | +0.038610 | 0.048394 | 0.031109 |
| 19 | 146 | 168 | 314 | +0.167286 | 0.044793 | 0.028916 |
| 20 | 154 | 181 | 335 | +0.066879 | 0.043366 | 0.028178 |
| 21 | 171 | 197 | 368 | +0.098507 | 0.041376 | 0.026699 |
| 22 | 178 | 203 | 381 | +0.035326 | 0.040664 | 0.026168 |
| 23 | 175 | 201 | 376 | -0.013123 | 0.040933 | 0.026405 |
| 24 | 170 | 196 | 366 | -0.026596 | 0.041489 | 0.026959 |
| 25 | 169 | 192 | 361 | -0.013661 | 0.041775 | 0.027092 |
| *Promedio* | *143.60* | *156.88* | *300.48* | *0.031584* | *0.046228* | *0.029944* |

***Tabla de la simulación con cuatro hijos, crossover en un punto, mutación en un punto, selección con el método de la rueda de la ruleta, con elitismo, sin exigir mutación.***

**Tabla XI**

***Tamaño poblacional de la tercera simulación con cuatro hijos***

***Figura 5.9***

Al utilizar el elitismo, la población se observa un crecimiento menor que al no utilizarlo. Aunque realmente lo que se observa es un crecimiento posterior a un decrecimiento. El crecimiento promedio es del orden del 3.15%, esto es por no seleccionar a los individuos más aptos, para el crossover y la mutación.

**Exigir mutación**

Utilizaré como referencia la tabla # 1, en la que no se exige la mutación, y luego veamos en la tabla # 10 lo que sucede cuando exigimos la mutación para cada iteración.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Hombres | Mujeres | Total | Crecimiento | M. Aptitud | Aptitud P. |
| 1 | 96 | 89 | 185 | +0.000000 | 0.058356 | 0.038071 |
| 2 | 127 | 120 | 247 | +0.335135 | 0.050504 | 0.032895 |
| 3 | 156 | 154 | 310 | +0.255061 | 0.045081 | 0.028729 |
| 4 | 153 | 156 | 309 | -0.003226 | 0.045153 | 0.028782 |
| 5 | 152 | 154 | 306 | -0.009709 | 0.045374 | 0.028901 |
| 6 | 149 | 151 | 300 | -0.019608 | 0.045826 | 0.029258 |
| 7 | 147 | 146 | 293 | -0.023333 | 0.046370 | 0.029413 |
| 8 | 146 | 144 | 290 | -0.010239 | 0.046609 | 0.029569 |
| 9 | 140 | 142 | 282 | -0.027586 | 0.047266 | 0.029902 |
| 10 | 137 | 139 | 276 | -0.021277 | 0.047777 | 0.030221 |
| 11 | 134 | 135 | 269 | -0.025362 | 0.048394 | 0.030624 |
| 12 | 131 | 131 | 262 | -0.026022 | 0.049037 | 0.031005 |
| 13 | 128 | 130 | 258 | -0.015267 | 0.049415 | 0.031133 |
| 14 | 126 | 129 | 255 | -0.011628 | 0.049705 | 0.031270 |
| 15 | 124 | 128 | 252 | -0.011765 | 0.050000 | 0.031432 |
| 16 | 123 | 124 | 247 | -0.019841 | 0.050504 | 0.031810 |
| 17 | 119 | 123 | 242 | -0.020243 | 0.051023 | 0.032190 |
| 18 | 136 | 140 | 276 | +0.140496 | 0.047777 | 0.030382 |
| 19 | 157 | 160 | 317 | +0.148551 | 0.044580 | 0.028426 |
| 20 | 167 | 179 | 346 | +0.091483 | 0.042671 | 0.027172 |
| 21 | 175 | 189 | 364 | +0.052023 | 0.041603 | 0.026323 |
| 22 | 187 | 207 | 394 | +0.082418 | 0.039987 | 0.025138 |
| 23 | 180 | 204 | 384 | -0.025381 | 0.040505 | 0.025388 |
| 24 | 174 | 198 | 372 | -0.031250 | 0.041153 | 0.025774 |
| 25 | 171 | 194 | 365 | -0.018817 | 0.041545 | 0.025847 |
| *Promedio* | *145.40* | *150.64* | *296.04* | *+0.031385* | *0.046649* | *0.029586* |

***Tabla de la simulación con cuatro hijos, crossover en un punto, mutación en un punto, selección con el método de la rueda de la ruleta, sin elitismo, con exigencia de la mutación.***

***Tabla XII***

Debe observarse un bajo porcentaje de crecimiento en la población, que en promedio es del 3.13%, lo que indica una baja tasa de natalidad o una alta tasa de mortalidad. Debe observarse también la curva en la gráfica, que se ve un poco rígida y escalonada.

***Tamaño poblacional de la cuarta simulación con cuatro hijos***

***Figura 5.10***

**Selección**

Ahora cambiaré del método de selección de la rueda de la ruleta que utilizamos en la Tabla IX de la primera simulación con cuatro hijos y veamos en la Tabla XIII lo que sucede cuando aplicamos el modelo de selección del torneo. En este método de selección los individuos están ordenados por aptitud de mayor a menor; pero reciben una probabilidad de ser escogidos que es casi igual para todos, sin importar la aptitud.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Hombres | Mujeres | Total | Crecimiento | M. Aptitud | Aptitud P. |
| 1 | 97 | 91 | 188 | +0.000000 | 0.057888 | 0.036235 |
| 2 | 122 | 107 | 229 | +0.218085 | 0.052451 | 0.033729 |
| 3 | 120 | 105 | 225 | -0.017467 | 0.052915 | 0.034062 |
| 4 | 119 | 112 | 231 | +0.026667 | 0.052223 | 0.034419 |
| 5 | 121 | 115 | 236 | +0.021645 | 0.051667 | 0.033893 |
| 6 | 117 | 113 | 230 | -0.025424 | 0.052337 | 0.034201 |
| 7 | 117 | 115 | 232 | +0.008696 | 0.052111 | 0.033878 |
| 8 | 115 | 114 | 229 | -0.012931 | 0.052451 | 0.034464 |
| 9 | 111 | 113 | 224 | -0.021834 | 0.053033 | 0.034873 |
| 10 | 108 | 111 | 219 | -0.022321 | 0.053635 | 0.035103 |
| 11 | 105 | 108 | 213 | -0.027397 | 0.054385 | 0.035651 |
| 12 | 104 | 104 | 208 | -0.023474 | 0.055035 | 0.036373 |
| 13 | 102 | 101 | 203 | -0.024038 | 0.055709 | 0.037112 |
| 14 | 100 | 100 | 200 | -0.014778 | 0.056125 | 0.037262 |
| 15 | 96 | 101 | 197 | -0.015000 | 0.056551 | 0.037738 |
| 16 | 95 | 96 | 191 | -0.030457 | 0.057432 | 0.038386 |
| 17 | 98 | 93 | 191 | +0.000000 | 0.057432 | 0.038705 |
| 18 | 96 | 93 | 189 | -0.010471 | 0.057735 | 0.038294 |
| 19 | 97 | 91 | 188 | -0.005291 | 0.057888 | 0.038249 |
| 20 | 100 | 94 | 194 | +0.031915 | 0.056986 | 0.038033 |
| 21 | 102 | 103 | 205 | +0.056701 | 0.055436 | 0.036997 |
| 22 | 101 | 107 | 208 | +0.014634 | 0.055035 | 0.036941 |
| 23 | 102 | 109 | 211 | +0.014423 | 0.054642 | 0.037043 |
| 24 | 103 | 111 | 214 | +0.014218 | 0.054258 | 0.036838 |
| 25 | 100 | 106 | 206 | -0.037383 | 0.055301 | 0.037454 |
| *Promedio* | *105.92* | *104.52* | *210.44* | *+0.004749* | *0.054826* | *0.036237* |

***Tabla de la simulación con cuatro hijos, crossover en un punto, mutación en un punto, selección con el método del torneo, sin elitismo, sin exigir de la mutación.***

**Tabla XIII**

La población ha crecido en promedio 4.75%, y esto es por la forma de selección que utiliza el método del torneo y debe observarse la forma como cambia la curva en el gráfico, a diferencia de todos los anteriores.

***Tamaño poblacional de la quinta simulación con cuatro hijos***

***Figura 5.11***

Puede observarse que en todas las configuraciones, el número de individuos crece y decrece periódicamente, o crece una vez y luego decrece o viceversa; pero nunca tiene un comportamiento monótono pese a que su tendencia sí lo es.

En realidad estas son las variaciones en la configuración del algoritmo genético; pero también puede hacerse variar los parámetros de la población, así como el límite de vida, o el intervalo de fecundidad de los individuos. Entonces a continuación realizaré dos simulaciones más para observar el comportamiento de la curva en estas condiciones.

**Edad límite de vida**

A continuación utilizaré la misma configuración de la tabla uno, con cuatro hijos; pero disminuiré la edad límite de vida a w=50 para observar que pasa con el crecimiento poblacional.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Hombres | Mujeres | Total | Crecimiento | M. Aptitud | Aptitud P. |
| 1 | 91 | 94 | 185 | +0.000000 | 0.058356 | 0.040145 |
| 2 | 113 | 125 | 238 | +0.286486 | 0.051450 | 0.034874 |
| 3 | 143 | 148 | 291 | +0.222689 | 0.046529 | 0.031219 |
| 4 | 170 | 178 | 348 | +0.195876 | 0.042548 | 0.028648 |
| 5 | 180 | 190 | 370 | +0.063218 | 0.041264 | 0.027597 |
| 6 | 176 | 187 | 363 | -0.018919 | 0.041660 | 0.027933 |
| 7 | 170 | 184 | 354 | -0.024793 | 0.042186 | 0.028314 |
| 8 | 166 | 180 | 346 | -0.022599 | 0.042671 | 0.028577 |
| 9 | 162 | 174 | 336 | -0.028902 | 0.043301 | 0.029001 |
| 10 | 159 | 169 | 328 | -0.023810 | 0.043826 | 0.029441 |
| 11 | 156 | 160 | 316 | -0.036585 | 0.044651 | 0.029909 |
| 12 | 150 | 156 | 306 | -0.031646 | 0.045374 | 0.030266 |
| 13 | 143 | 148 | 291 | -0.049020 | 0.046529 | 0.030920 |
| 14 | 136 | 140 | 276 | -0.051546 | 0.047777 | 0.031510 |
| 15 | 132 | 131 | 263 | -0.047101 | 0.048943 | 0.032560 |
| 16 | 127 | 129 | 256 | -0.026616 | 0.049608 | 0.032934 |
| 17 | 131 | 123 | 254 | -0.007813 | 0.049803 | 0.032532 |
| 18 | 134 | 125 | 259 | +0.019685 | 0.049320 | 0.032003 |
| 19 | 152 | 135 | 287 | +0.108108 | 0.046852 | 0.030486 |
| 20 | 175 | 152 | 327 | +0.139373 | 0.043893 | 0.028689 |
| 21 | 184 | 157 | 341 | +0.042813 | 0.042983 | 0.028032 |
| 22 | 177 | 148 | 325 | -0.046921 | 0.044028 | 0.028474 |
| 23 | 173 | 140 | 313 | -0.036923 | 0.044864 | 0.028798 |
| 24 | 163 | 129 | 292 | -0.067093 | 0.046449 | 0.029728 |
| 25 | 156 | 123 | 279 | -0.044521 | 0.047519 | 0.030387 |
| Promedio | 152.76 | 149.00 | 301.76 | +0.020538 | 0.046095 | 0.030519 |

***Tabla de la simulación con el límite de vida disminuido a 50 años.***

***Tabla XIV***

***Tamaño poblacional de la sexta simulación con cuatro hijos***

***Figura 5.12***

La tabla muestra un crecimiento muy pequeño, del orden del 2.05%, y el gráfico indica la forma acelerada como crece y luego decrece y crece la población debido a la poca edad que los individuos pueden tener, y no se reproducen en forma completa.

**Intervalo de edades de reproducción**

A continuación utilizaré la misma configuración de la Tabla IX, con cuatro hijos; pero disminuiré las edades de reproducción para observar que sucede con el crecimiento poblacional. Utilizaré las edades desde los 25 hasta los 30 años únicamente. Evidentemente, esto no permitirá si se utiliza en promedio una cantidad mayor a cinco hijos, que todos lleguen a nacer y a pertenecer a la población, ya que se trunca el crecimiento en la edad límite superior.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Hombres | Mujeres | Total | Crecimiento | M. Aptitud | Aptitud P. |
| 1 | 89 | 94 | 183 | +0.000000 | 0.058674 | 0.039829 |
| 2 | 87 | 91 | 178 | -0.027322 | 0.059492 | 0.040349 |
| 3 | 83 | 88 | 171 | -0.039326 | 0.060698 | 0.040881 |
| 4 | 81 | 87 | 168 | -0.017544 | 0.061237 | 0.041401 |
| 5 | 78 | 85 | 163 | -0.029762 | 0.062169 | 0.042155 |
| 6 | 77 | 82 | 159 | -0.024540 | 0.062947 | 0.042865 |
| 7 | 76 | 80 | 156 | -0.018868 | 0.063549 | 0.043508 |
| 8 | 73 | 77 | 150 | -0.038462 | 0.064807 | 0.045004 |
| 9 | 68 | 74 | 142 | -0.053333 | 0.066608 | 0.045886 |
| 10 | 65 | 71 | 136 | -0.042254 | 0.068061 | 0.047043 |
| 11 | 63 | 69 | 132 | -0.029412 | 0.069085 | 0.047757 |
| 12 | 62 | 65 | 127 | -0.037879 | 0.070432 | 0.048800 |
| 13 | 61 | 63 | 124 | -0.023622 | 0.071279 | 0.050177 |
| 14 | 59 | 60 | 119 | -0.040323 | 0.072761 | 0.051161 |
| 15 | 56 | 57 | 113 | -0.050420 | 0.074667 | 0.052789 |
| 16 | 53 | 56 | 109 | -0.035398 | 0.076025 | 0.053480 |
| 17 | 51 | 53 | 104 | -0.045872 | 0.077831 | 0.054482 |
| 18 | 48 | 52 | 100 | -0.038462 | 0.079373 | 0.055179 |
| 19 | 46 | 49 | 95 | -0.050000 | 0.081435 | 0.057122 |
| 20 | 44 | 46 | 90 | -0.052632 | 0.083666 | 0.057721 |
| 21 | 39 | 44 | 83 | -0.077778 | 0.087123 | 0.060518 |
| 22 | 38 | 42 | 80 | -0.036145 | 0.088034 | 0.061039 |
| 23 | 35 | 39 | 74 | -0.075000 | 0.091533 | 0.063092 |
| 24 | 32 | 38 | 70 | -0.054054 | 0.094112 | 0.065510 |
| 25 | 30 | 34 | 64 | -0.085714 | 0.098425 | 0.068938 |
| *Promedio* | *59.76* | *63.84* | *123.6* | *-0.040965* | *0.073761* | *0.051067* |

***Tabla de la simulación con el intervalo de fecundidad disminuido desde los 25 a los 30 años únicamente.***

***Tabla XV***

La población ha decrecido en promedio en 4.09% en 25 años, lo cual indica que por más que haya utilizado cuatro hijos, estos no alcanzan a nacer todos. Esto indica que los hijos no necesariamente nacen en años consecutivos en este modelo poblacional, que fue diseñado mediante algoritmos genéticos.

***Tamaño poblacional de la sexta simulación con cuatro hijos***

***Figura 5.13***

La gráfica presenta un decrecimiento sumamente acelerado y casi de forma lineal, y aunque con cuatro hijos existe un supuesto de crecimiento de la población, en este caso no se cumple.

**Límite de la población**

Otra opción que resulta interesante es limitar el crecimiento de la población, agregando un valor límite, que significa la capacidad máxima de la población.

En mi aplicación un valor de cero utilizado hasta ahora implica que no hay límites; pero si lo utilizamos, se estabilizará.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Hombres | Mujeres | Total | Crecimiento | M. Aptitud | Aptitud P. |
| 1 | 184 | 183 | 367 | +0.000000 | 0.041432 | 0.027699 |
| 2 | 231 | 231 | 462 | +0.258856 | 0.036927 | 0.024486 |
| 3 | 297 | 274 | 571 | +0.235931 | 0.033216 | 0.021841 |
| 4 | 339 | 321 | 660 | +0.155867 | 0.030896 | 0.020273 |
| 5 | 335 | 315 | 650 | -0.015152 | 0.031132 | 0.020402 |
| 6 | 329 | 306 | 635 | -0.023077 | 0.031498 | 0.020698 |
| 7 | 323 | 303 | 626 | -0.014173 | 0.031724 | 0.020864 |
| 8 | 316 | 295 | 611 | -0.023962 | 0.032111 | 0.021097 |
| 9 | 310 | 290 | 600 | -0.018003 | 0.032404 | 0.021249 |
| 10 | 305 | 284 | 589 | -0.018333 | 0.032705 | 0.021481 |
| 11 | 298 | 279 | 577 | -0.020374 | 0.033043 | 0.021718 |
| 12 | 289 | 268 | 557 | -0.034662 | 0.033631 | 0.022067 |
| 13 | 283 | 262 | 545 | -0.021544 | 0.033999 | 0.022256 |
| 14 | 276 | 259 | 535 | -0.018349 | 0.034316 | 0.022546 |
| 15 | 271 | 252 | 523 | -0.022430 | 0.034707 | 0.022741 |
| 16 | 262 | 246 | 508 | -0.028681 | 0.035216 | 0.023099 |
| 17 | 263 | 242 | 505 | -0.005906 | 0.035320 | 0.023027 |
| 18 | 283 | 274 | 557 | +0.102970 | 0.033631 | 0.021802 |
| 19 | 276 | 264 | 540 | -0.030521 | 0.034157 | 0.022147 |
| 20 | 333 | 305 | 638 | +0.181481 | 0.031424 | 0.020267 |
| 21 | 380 | 341 | 721 | +0.130094 | 0.029560 | 0.019167 |
| 22 | 373 | 336 | 709 | -0.016644 | 0.029809 | 0.019352 |
| 23 | 368 | 330 | 698 | -0.015515 | 0.030043 | 0.019543 |
| 24 | 405 | 360 | 765 | +0.095989 | 0.028697 | 0.018607 |
| 25 | 396 | 354 | 750 | -0.019608 | 0.028983 | 0.018827 |
| *Promedio* | *309.00* | *286.96* | *595.96* | *+0.032570* | *0.032823* | *0.021490* |

***Tabla de la simulación limitando el crecimiento de la población***

***Tabla XVI***

En esta ejecución puede notarse que las cantidades iniciales fueron cambiadas, esto es por efectos de observar mejor el crecimiento de la población, se escogieron valores un poco más altos, es decir 200 hombres y 200 mujeres. Además se agregó un valor límite de la población que son 700 personas.

***Tamaño poblacional de la séptima simulación con cuatro hijos***

***Figura 5.14***

El gráfico muestra crecimientos y decrecimientos a través del tiempo; pero este modelo está limitado a un máximo de 700 individuos, por lo que puede crecer un poco más de eso y luego decrecerá otra vez.

* 1. **Predicción de los resultados por medio de los métodos convencionales.**

En esta parte del proyecto, voy a utilizar una de las posibles configuraciones del Algoritmos genéticos – modelo poblacional, para compararla con los métodos convencionales de crecimientos poblacionales.

Utilizaré la configuración dada en la primera ejecución con cuatro hijos que se muestra en la tabla IX, esto es con probabilidades de mutación de 0.01 y crossover de 0.9, así como los métodos de un solo punto, y el modelo de selección de la ruleta, sin elitismo, y sin exigir la mutación; pero lo haré utilizando 48 iteraciones, para tomar un subconjunto de estas, de 45 iteraciones y tratar de comparar; para averiguar a que modelo se ajusta.

Lo haré además con la misma configuración del intervalo de edades de reproducción, es decir desde los 15 hasta los 44 años, y una edad límite de w=80 años. He considerado esta configuración, porque fue con la que comparé todas las demás, y porque los resultados son muy coherentes a la realidad.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Hombres | Mujeres | Total | Crecimiento | M. Aptitud | Aptitud P. | Edades |
| 01 | 4552 | 4563 | 9115 | +0.000000 | 0.008314 | 0.005557 | 38.51 |
| 02 | 4733 | 4758 | 9491 | +0.041251 | 0.008147 | 0.005435 | 36.61 |
| 03 | 4928 | 4971 | 9899 | +0.042988 | 0.007978 | 0.005314 | 34.76 |
| 04 | 5177 | 5206 | 10383 | +0.048894 | 0.007789 | 0.005187 | 32.86 |
| 05 | 5448 | 5458 | 10906 | +0.050371 | 0.007600 | 0.005055 | 31.00 |
| 06 | 5739 | 5723 | 11462 | +0.050981 | 0.007414 | 0.004916 | 29.42 |
| 07 | 5991 | 5960 | 11951 | +0.042663 | 0.007261 | 0.004819 | 28.18 |
| 08 | 6220 | 6231 | 12451 | +0.041838 | 0.007113 | 0.004717 | 26.99 |
| 09 | 6514 | 6482 | 12996 | +0.043772 | 0.006963 | 0.004610 | 25.84 |
| 10 | 6831 | 6751 | 13582 | +0.045091 | 0.006811 | 0.004504 | 24.79 |
| 11 | 6885 | 6805 | 13690 | +0.007952 | 0.006784 | 0.004485 | 24.68 |
| 12 | 6728 | 6692 | 13420 | -0.019722 | 0.006852 | 0.004529 | 25.29 |
| 13 | 6615 | 6568 | 13183 | -0.017660 | 0.006913 | 0.004569 | 25.85 |
| 14 | 6470 | 6440 | 12910 | -0.020708 | 0.006986 | 0.004617 | 26.30 |
| 15 | 6326 | 6305 | 12631 | -0.021611 | 0.007062 | 0.004668 | 26.82 |
| 16 | 6174 | 6165 | 12339 | -0.023118 | 0.007145 | 0.004722 | 27.28 |
| 17 | 6220 | 6195 | 12415 | +0.006159 | 0.007124 | 0.004701 | 27.05 |

***Tabla de las iteraciones 1 a 17 de la simulación para comparar***

***Tabla XVII***

En esta tabla se presentan las primeras 17 iteraciones del algoritmo, correspondientes a los primeros 17 años de la población, nótese que la población creció hasta la iteración # 11 y luego decreció.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Hombres | Mujeres | Total | Crecimiento | M. Aptitud | Aptitud P. | Edades |
| 18 | 6248 | 6235 | 12483 | +0.005477 | 0.007104 | 0.004687 | 26.80 |
| 19 | 6448 | 6483 | 12931 | +0.035889 | 0.006980 | 0.004596 | 25.77 |
| 20 | 6716 | 6697 | 13413 | +0.037275 | 0.006853 | 0.004515 | 24.84 |
| 21 | 7014 | 6952 | 13966 | +0.041229 | 0.006716 | 0.004420 | 23.80 |
| 22 | 7269 | 7256 | 14525 | +0.040026 | 0.006586 | 0.004329 | 22.97 |
| 23 | 7583 | 7524 | 15107 | +0.040069 | 0.006458 | 0.004242 | 22.19 |
| 24 | 7848 | 7779 | 15627 | +0.034421 | 0.006349 | 0.004161 | 21.57 |
| 25 | 8113 | 8024 | 16137 | +0.032636 | 0.006248 | 0.004092 | 20.97 |
| 26 | 8387 | 8313 | 16700 | +0.034889 | 0.006142 | 0.004018 | 20.46 |
| 27 | 8694 | 8646 | 17340 | +0.038323 | 0.006028 | 0.003942 | 19.83 |
| 28 | 9048 | 8943 | 17991 | +0.037543 | 0.005918 | 0.003874 | 19.28 |

***Tabla de las iteraciones 18 a 28 de la simulación para comparar***

***Tabla XVIII***

Se muestran las iteraciones desde la # 18 hasta la # 28, y se puede apreciar un crecimiento y luego un decrecimiento.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | Hombres | Mujeres | Total | Crecimiento | M. Aptitud | Aptitud P. | Edades |
| 29 | 9310 | 9178 | 18488 | +0.027625 | 0.005837 | 0.003814 | 18.92 |
| 30 | 9139 | 9011 | 18150 | -0.018282 | 0.005892 | 0.003847 | 19.46 |
| 31 | 9143 | 9030 | 18173 | +0.001267 | 0.005888 | 0.003844 | 19.65 |
| 32 | 9019 | 8900 | 17919 | -0.013977 | 0.005929 | 0.003868 | 19.98 |
| 33 | 8919 | 8834 | 17753 | -0.009264 | 0.005957 | 0.003883 | 20.37 |
| 34 | 8930 | 8845 | 17775 | +0.001239 | 0.005953 | 0.003877 | 20.44 |
| 35 | 9046 | 8975 | 18021 | +0.013840 | 0.005913 | 0.003853 | 20.34 |
| 36 | 9308 | 9250 | 18558 | +0.029799 | 0.005826 | 0.003794 | 19.81 |
| 37 | 9668 | 9556 | 19224 | +0.035887 | 0.005725 | 0.003725 | 19.40 |
| 38 | 9954 | 9810 | 19764 | +0.028090 | 0.005646 | 0.003676 | 19.14 |
| 39 | 10226 | 10092 | 20318 | +0.028031 | 0.005568 | 0.003623 | 18.86 |
| 40 | 10452 | 10313 | 20765 | +0.022000 | 0.005508 | 0.003583 | 18.71 |
| 41 | 10707 | 10577 | 21284 | +0.024994 | 0.005441 | 0.003531 | 18.52 |
| 42 | 10976 | 10852 | 21828 | +0.025559 | 0.005372 | 0.003485 | 18.32 |
| 43 | 11209 | 11132 | 22341 | +0.023502 | 0.005310 | 0.003443 | 18.15 |
| 44 | 11492 | 11407 | 22899 | +0.024977 | 0.005245 | 0.003403 | 18.03 |
| 45 | 11849 | 11707 | 23556 | +0.028691 | 0.005172 | 0.003356 | 17.91 |
| 46 | 12156 | 12034 | 24190 | +0.026915 | 0.005103 | 0.003309 | 17.84 |
| 47 | 12540 | 12356 | 24896 | +0.029186 | 0.005030 | 0.003260 | 17.77 |
| 48 | 12860 | 12705 | 25565 | +0.026872 | 0.004964 | 0.003220 | 17.64 |

***Tabla de las iteraciones 29 a 48 de la simulación para comparar***

***Tabla XIX***

En esta tabla se observan las últimas iteraciones del algoritmo, es decir desde la iteración # 29 hasta la iteración #48, y se puede observar un crecimiento bastante acelerado, y es también evidente la forma como ha decrecido la función de aptitud.

***Línea a través del tiempo de los datos simulados***

***Figura 5.15***

Esta gráfica muestra el crecimiento y decrecimiento de la población, y por la misma, podemos observar que es convexa, por lo cual puede modelarse su tendencia mediante un modelo de crecimiento exponencial.

Utilizando el AGMP, en su parte del modelo exponencial mediante mínimos cuadrados obtuve la tendencia exponencial del modelo para las primeras 45 iteraciones, mediante la siguiente ecuación:



De igual manera quise comparar con un crecimiento lineal, y obtuve la siguiente ecuación:



El modelo exponencial presenta un coeficiente de determinación R2 =0.944, que es el mismo que presenta el modelo lineal. Lo diferente es la media de cuadrados del error que presenta el exponencial con un valor de 0.0036034, mientras que el modelo lineal presenta una media de cuadrados del error de 861311.1, realmente grande. Además podemos observar en la siguiente gráfica como la tendencia exponencial explica el modelo un poco mejor que la tendencia lineal.



***Comparación con las tendencias lineal y exponencial***

***Figura 5.16***

Lo que sigue es analizar los errores en cada punto de la curva. Para ello veamos la gráfica de los errores del modelo exponencial y del modelo lineal.

***Residuos de los datos ajustados a los modelos lineal y exponencial***

***Figura 5.17***

Al realizar esta operación, de restarles la tendencia a los datos, en el modelo exponencial se obtiene una serie con oscilaciones acentuadas y con repeticiones cada 17.5 años. Con esto podría tratarse de predecir los tres valores que le quité a la serie antes de hallar su tendencia, y compararé para ver que tan precisa es la predicción. En realidad se observará lo malo de la predicción del modelo lineal. Los valores estimados por los modelos exponencial y lineal en los años 46, 47 y 48 se presentan en las siguientes tablas:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Año** | **AGMP** | **Límite Inferior** | **Exponencial** | **Límite Superior** |
| 46  47  48 | 24190  24896  25565 | 20567.68888  20946.44648  21331.87674 | 23341.23013  23779.57903  24226.16014 | 26488.78185  26995.90975  27513.13643 |

***Valores estimados por el modelo exponencial***

***Tabla XX***

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Año** | **AGMP** | **Límite Inferior** | **Lineal** | **Límite Superior** |
| 46  47  48 | 24190  24896  25565 | 20331.70868  20613.20080  20894.47387 | 22287.46566  22574.49556  22861.52547 | 24243.22263  24535.79033  24828.57707 |

***Valores estimados por el modelo lineal***

***Tabla XXI***

Es evidente como un modelo lineal predice valores realmente malos, mientras que el modelo exponencial se acerca bastante a los valores reales. Lo importante es que están dentro del intervalo de 95% de confianza. Además debe recordarse que estamos analizando personas, por lo que se debe tratar con datos enteros, quedando la tabla para el modelo exponencial de la siguiente manera en los años 46, 4 y 48.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Año** | **AGMP** | **Límite Inferior** | **Exponencial** | **Límite Superior** |
| 46  47  48 | 24190  24896  25565 | 20567  20946  21331 | 23341  23779  24226 | 26488  26995  27513 |

***Valores enteros estimados por el modelo lineal***

***Tabla XXII***

* 1. **Predicción de los resultados mediante algoritmos genéticos.**

**Primera ejecución**

Al hacer uso de mi aplicación del modelo exponencial, obtuve los siguientes valores para β0 y β1, haciendo una ejecución con un máximo de 50 iteraciones y 256 nodos.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Parámetro** | **Mínimos Cuadrados** | **AGMP** |
| β0  β1 | 9918.01  0.01863 | 9905.15  0.01514 |

***Primera estimación de B0 y B1 para el modelo exponencial***

***Tabla XXIII***

Obteniéndose un modelo de la siguiente manera:



Los valores obtenidos mediante los algoritmos genéticos no son los mismos que mostró el programa AGMP con mínimos cuadrados; pero son bastante cercanos, lo cual demuestra que los algoritmos genéticos tienen una convergencia que se aproxima bastante a los verdaderos valores.

**Segunda ejecución**

Para la segunda ejecución se realizó un máximo de 100 iteraciones y 1024 nodos, y se obtuvieron los siguientes resultados que se presentan en la siguiente tabla.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Parámetro** | **Mínimos Cuadrados** | **AGMP** |
| β0  β1 | 9918.01  0.01863 | 9915.43  0.01790 |

***Segunda estimación de B0 y B1 para el modelo exponencial***

***Tabla XXIV***

Quedando el modelo de la siguiente forma:



Los valores para esta ejecución fueron más cercanos a los que se obtuvieron con los mínimos cuadrados, esto es porque se aumentó el tamaño de la búsqueda.

**Tercera ejecución**

Finalmente, realicé una tercera ejecución, con un máximo de 200 iteraciones y 4096 nodos, y se obtuvieron los siguientes resultados.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Parámetro** | **Mínimos Cuadrados** | **AGMP** |
| β0  β1 | 9918.01  0.01863 | 9918.05  0.01800 |

***Tercera estimación de B0 y B1 para el modelo exponencial***

***Tabla XXV***

El modelo finalmente queda casi igual al que mostró el método de los mínimos cuadrados:



Los valores obtenidos para β0 y β1 para esta ejecución fueron casi los mismos que los que se obtuvo con los mínimos cuadrados. Lamentablemente el tiempo de ejecución aumentó en una forma muy considerable.

* 1. **Selección del mejor modelo mediante algoritmos genéticos.**

Para esta parte voy a utilizar un archivo de texto que contiene datos acerca de la natalidad, mortalidad, emigraciones y las inmigraciones, así como la variable explicada que es el tamaño de la población.

En la tabla XXVI se muestran los datos utilizados para realizar la regresión de tipo exponencial.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Tamaño | Nacimientos | Muertes | Emigraciones | Inmigraciones |
| 920 | 13 | 18 | 17 | 3 |
| 927 | 8 | 2 | 7 | 18 |
| 929 | 10 | 17 | 13 | 1 |
| 940 | 9 | 6 | 8 | 4 |
| 957 | 1 | 5 | 15 | 10 |
| 974 | 5 | 5 | 4 | 19 |
| 993 | 17 | 16 | 13 | 8 |
| 993 | 11 | 14 | 9 | 19 |
| 1001 | 15 | 10 | 19 | 13 |
| 1018 | 6 | 6 | 14 | 17 |
| 1020 | 2 | 3 | 6 | 16 |
| 1024 | 18 | 10 | 11 | 19 |
| 1024 | 13 | 14 | 3 | 16 |
| 1024 | 8 | 3 | 18 | 1 |
| 1027 | 13 | 5 | 2 | 12 |
| 1031 | 1 | 1 | 17 | 6 |
| 1031 | 18 | 13 | 2 | 9 |
| 1036 | 0 | 10 | 14 | 11 |
| 1042 | 6 | 5 | 10 | 5 |
| 1053 | 19 | 18 | 18 | 17 |

***Datos para realizar la ejecución de la selección del mejor modelo de varias variables.***

***Tabla XXVI***

El usuario escogió el modelo en que sólo se utilizan las variables de natalidad y mortalidad, dejándose a un lado los valores de las emigraciones y de las inmigraciones; obteniéndose los siguientes resultados, junto con los que escogió el algoritmo genético, que tiene mejor explicación y menor suma de cuadrados del error. En la siguiente tabla se muestran los resultados de ambos modelos.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***Variable Aleatoria*** | ***AMGP*** | ***Elegido*** |
| β0 | 975.583455 | 998.427819 |
| β1 | 0.000381 | 0.001899 |
| β2 | 0 | -0.002146 |
| β3 | 0 | 0 |
| β4 | 0.001641 | 0 |
| SCE | 0.03287996 | 0.03330770 |
| R2 | 0.51644115 | 0.51321272 |
| Estadístico | 9.07800550 | 8.96142607 |

***Resultados de la ejecución del algoritmo genético para seleccionar el modelo***

***Tabla XXVI***

* 1. **Observaciones.**

En este capítulo, he revisado los resultados de realizar una simulación poblacional utilizando los algoritmos genéticos, y luego ajusté los datos a un modelo exponencial, debido a la tendencia de los mismos, tratando inclusive de predecir valores que ya eran conocidos, y finalmente he comparado los resultados de la ejecución de mi aplicación del modelo exponencial con algoritmos genéticos y con mínimos cuadrados.

Este simulador de crecimiento poblacional con algoritmos genéticos funciona con valores de aptitudes aleatorias tomadas del algoritmo genético, y así mismo con cada uno de sus parámetros, por lo que los resultados podrían variar de una corrida a otra. En las aplicaciones de los modelos exponencial y logístico, a mayor cantidad de nodos de búsqueda, darán una mejor aproximación de los resultados.

En el algoritmo genético de optimización para selección de un mejor modelo, el algoritmo dará un buen resultado, que probablemente no sea el mejor modelo que tengamos, pero sí es uno de los que más explican dichos resultados.

Considero importante aclarar que en estas simulaciones existen oscilaciones que en los modelos poblacionales no existen; pero esto se debe al tamaño inicial de la población. A medida que transcurre el tiempo, y la simulación avanza, las oscilaciones serán más pequeñas hasta desaparer.