

INTERNATIONAL MATHEMATICAL MODELING CHALLENGE

CAPACIDAD DE CARGA DEL PLANETA TIERRA

5 de abril de 2019

Índice

Resumen Ejecutivo	2
Interpretación del problema	3
Factores limitantes para la capacidad de carga	3
Comida	4
Vivienda	4
Agua Potable	4
Ropa	4
Oxígeno	4
Energía	4
El Modelo	5
Introducción al Modelo	5
Supuestos	5
Parámetros	6
Variables	7
Función objetivo	7
Restricciones	8
Globales	8
Comida	8
Vivienda	9
Agua Potable	9
Ropa	9
Oxígeno	10
Energía	10
Ventajas y desventajas	10
Desventajas	10
Ventajas	11
El futuro	11
Ejemplificación	12
Introducción	12
Parámetros	12
Análisis de la ejemplificación	14
Apendice A	14
Apendice B	17
Apendice C	19

RESUMEN EJECUTIVO

La problemática a resolver es la de maximizar la población humana en el planeta tierra respetando las condiciones y tecnologías actuales. Además se solicitan tres posibles soluciones. En un comienzo se interpretó el problema de manera que la solución consistía en lograr calcular la cantidad de gente que podía habitar el planeta con exactamente los mismos estándares de vida actuales, lo que significa que la gente podría vivir en mansiones o en cabañas pequeñas dependiendo de su situación económica. Que cada persona tendría una cantidad de ropa enorme comparada con la estrictamente necesaria. Además, habría implicado que los espacios de entretenimiento y ocio habrían ocupado mucho lugar, reduciendo el número de posibles habitantes en la tierra, puesto que estas instalaciones implican mucho espacio. Además, el sistema de banco, salud y servicios públicos como lo tenemos hoy, también habría significado mucho lugar. Según esta interpretación, para resolver el problema se habría tenido que calcular el espacio que ocupa una persona hoy en día, considerando el banco, hospital, mall, calle, estacionamiento, parque etc. y dividir la cantidad de espacio disponible en la tierra por ese número. Al ver que este cálculo era demasiado simple para un problema de tanto calibre, se decidió que esta interpretación era errónea. Gracias a esta última conclusión la interpretación del problema pasó a ser una muy diferente, la cual se ve desarrollada durante todo el modelo. Esta consiste en que el resultado está calculado a partir de un ser humano viviendo con lo justo y necesario para poder subsistir, es decir, comida, bebida, vivienda, ropa, electricidad y oxígeno. El resto de las exigencias que se mencionaron en la interpretación anterior no son vitales, y por lo tanto, se omitirán en el desarrollo del problema. Esto implicaría también, que la cantidad de gente que puede habitar la tierra va a ser mayor por dos razones. Primeramente, porque todos los vicios de la sociedad hoy en día ocupan mucho lugar, el cual podría ser utilizado para albergar personas. Además de ocupar espacio, estas exigencias requieren también recursos naturales limitados en cantidad, y vitales para nuestra supervivencia, reduciendo el número de posibles habitantes en la tierra.

El factor que hace que este modelo sea considerando superior que el resto es que al divisar un factor que no se vea incluido en la fórmula original, este puede ser incluido en el cálculo sin necesidad de cambiar la ecuación matemática. Esto es posible ya que la incógnita "vivienda", está diseñada de tal manera que todas las necesidades dispensables de un ser humano pueden ser incluidas en caso de necesidad. Al sacar la relación entre el espacio total requerido para cierta necesidad y la cantidad de personas que podrían ocuparla, da por resultado la cantidad de lugar destinado a una sola persona para que pueda satisfacer dicha necesidad. Al sumar este resultado al valor que indica la necesidad de vivienda, éste pasa de ser un valor que indicaba únicamente la necesidad de residencia a uno nuevo que ahora indica tanto la nueva necesidad que se agregó como la antigua también, siendo ésta vivienda. Este valor se introduce en la ecuación matemática como el nuevo valor que originalmente estaba ocupado por "vivienda".

INTERPRETACIÓN DEL PROBLEMA

El problema presentado requiere de la formulación de un modelo que determine la capacidad de carga actual de la Tierra tomando en cuenta las condiciones y tecnología disponible actualmente. Parte esencial de la resolución de este problema es comprender a qué se refiere con “condiciones y tecnología actual”, asumiendo de este modo el hecho que la solución debe ser compatible con el mundo tal cual lo conocemos físicamente hoy (clima, geografía, etc.) y que la solución que se proponga sea factible utilizando la tecnología actualmente disponible. Esto se puede entender de dos maneras: Una de estas sería que se debe crear un mundo en condiciones de supervivencia, es decir, usando el mínimo indispensable de los productos vitales, la segunda sería recrear una sociedad tal como la conocemos hoy en día. En ambos casos sacando la carga máxima y respetando sus respectivos parámetros. Una vez claros los objetivos, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Identificar y analizar los principales factores limitantes de la capacidad de carga de la Tierra para la supervivencia humana bajo las condiciones actuales.
2. Utilizar un modelo matemático para determinar la capacidad de carga actual de la Tierra que permita la vida humana, dadas las condiciones y la tecnología actual.
3. Proponer soluciones reales fundamentadas en investigación para aumentar la capacidad de carga de la Tierra, tomando en cuenta las condiciones futuras.

FACTORES LIMITANTES PARA LA CAPACIDAD DE CARGA

El siguiente listado menciona los factores más importantes que limitan la capacidad de carga de la Tierra para la vida humana, conclusión basada en el libro "Motivación y Personalidad" de Abraham Maslow (Abraham Maslow, 1962, p.88).

1. Comida
2. Agua
3. Ropa
4. Oxígeno
5. Electricidad
6. Vivienda

Es importante aclarar que Maslow sostiene que para que un ser humano pueda vivir debe tener acceso a casi todos los puntos presentes en el listado previo, sin embargo, además de los requisitos listados anteriormente, hay otras necesidades implícitas en la conclusión del autor, es decir, que son necesarias para el cumplimiento de lo ya mencionado. Se debe tener en cuenta que todas las limitantes se reducen al factor espacio, y por lo tanto, si una necesidad indispensable no ocupa espacio, no es considerada como una limitante.

Comida

La comida es un elemento vital en la supervivencia del ser humano, una persona puede sobrevivir aproximadamente un mes sin consumir alimentos, esto indica lo indispensable que es esto para el ser humano. Para que las personas puedan obtener comida se necesitan establecimientos de producción, los cuales ocupan espacio y por lo tanto son considerados un factor limitante.

Vivienda

Según la RAE, "Vivienda" se define como un lugar cerrado y cubierto construido para ser habitado por personas (Real Academia Española, 2019). Todo ser humano necesita un techo bajo el que vivir para protegerse de situaciones adversas, ya sea el clima, animales u otro tipo de amenaza. Está claro que una vivienda usa espacio, y al ser éste nuestra limitante principal, al usarlo las viviendas se transforman en limitantes también.

Agua

El ser humano necesita consumir cierta cantidad de agua al día, los estudios indican que se puede sobrevivir entre tres y cinco días sin ella. Esto indica la alta importancia que tiene la obtención de agua, y por lo tanto lo esenciales que son las estaciones de tratamiento de ésta, las estaciones de tratamiento de esta, las cuales ocupan espacio. Al ser el espacio nuestra principal limitante el agua se transforma en una limitante también.

Ropa

John Denton establece en su publicación "Society and the official world: a reintroduction to sociology" (John Denton, 1990), que la vestimenta es una de las necesidades primordiales del ser humano, ya que si no disponen de ella no tendrán protección contra las condiciones climáticas adversas. Esto significa que las fábricas de ropa son indispensables, y como estas ocupan espacio, y esta una limitante, la ropa se transforma automáticamente en una.

Oxígeno

El cerebro de una persona aguanta aproximadamente cuatro minutos sin recibir oxígeno antes de sufrir una muerte irreversible de tejido cerebral y, por lo tanto, es imposible vivir sin oxígeno. Para efectos del modelo se tomará como productores del oxígeno únicamente a las plantas terrestres. Dichas plantas usan espacio y debido a que el espacio es nuestra limitante principal, el oxígeno se transforma en una limitante.

Energía

Sin la energía muchas de las necesidades básicas del ser humano no podrían ser cubiertas, o por lo menos no a gran escala. Por esta misma razón la energía es una de las

necesidades mas importantes de nuestro día a día. Al igual que los factores mencionados previamente en el documento, ésta es una limitante porque su existencia ocupa espacio, que sería nuestra limitante principal. En este caso, ese espacio ocupado por centrales generadores eléctricos, sin los cuales no podríamos tener energía.

EL MODELO

Introducción al Modelo

El modelo que vamos a plantear a continuación es un modelo que tiene como objetivo maximizar el numero de personas que pueden habitar el Planeta Tierra. Esto se logra a través de una función objetivo muy simple. Sin embargo, lleva varias restricciones que tienen como objetivo disminuir la cantidad posible de habitantes con tal de que el resultado sea más realista. Estas restricciones tienen que ver con los distintos factores que se relacionan con espacio y debido a que este es, a fin de cuentas, nuestra única limitante, se decidió trabajar exclusivamente con ella y no tomar en cuenta factores cruciales para la vida que no se manifiestan en espacio.

Supuestos

1. La ropa está compuesta únicamente por materiales sintéticos los cuales son producidos en la misma fábrica de ropa. Esto se debe a que utilizar materiales sintéticos ahorraría mucho una comparación con la utilización de materiales naturales,. Una razón por la cual conviene utilizar estos materiales es porque podría llegar a darse la situación de un caso en el que sea necesaria toda la tierra cultivable en el espacio terrestre, en ese caso no habría espacio para producir materiales para ropa (algodón). Para evitar este posible problema, se supondrá que los materiales para confeccionar ropa son únicamente sintéticos.
2. Todas las personas son adultas e independientes. Este supuesto sirve para considerar que todos consumen la misma cantidad de recursos y ocupan la misma cantidad de espacio, lo que facilitaría los cálculos notablemente.
3. Los huertos (plantaciones) crecen y se cosechan sin complicaciones ni fallas de algún tipo. Esto se debe a que no hay margen de error en la comida, es una razón exacta de comida por persona, por lo tanto si falla una cosecha va a haber gente que no va a comer de esa cosecha.
4. Por el hecho que el modelo fue creado para un alcance justo (es decir, si no se cosecha lo esperado de cada metro cuadrado de planta cuando se espere que se coseche). Es necesario que en el tiempo 0 ya haya suficiente comida para el primer año y que esa comida no se malogre, ya que de otra forma se tendría que esperar hasta la primera cosecha para comer y la gente se moriría. Además, cuando se coseche en el hemisferio norte no se va a poder cosechar en el hemisferio sur dado a las condiciones

climáticas. El problema con esto es que sin este supuesto se moriría la mitad de la población ya que solo está lista la cosecha del hemisferio norte (asumiendo que están divididas equitativamente).

Parámetros

1. T_C = Superficie cultivable de la tierra en m^2 = Porcentaje cultivable $\cdot T$
2. T_H = Superficie habitable de la tierra en m^2 = Porcentaje habitable $\cdot T$
3. T = Superficie terrestre en m^2 .
4. M_V = Espacio por vivienda en m^2 .
5. C_{kcal} = Cantidad de kilocalorías que necesita una persona al año.
6. C_{AP} = Cantidad de agua que necesita una persona al año (*Litros*).
7. C_R = Cantidad de metros tela para ropa que necesita una persona al año.
8. C_{O_2} = Cantidad de oxígeno que necesita una persona al año (*Litros*).
9. C_E = Energía representada por persona en m^2 .
10. R_{kcal} = Rendimiento¹ de la comida por metro cuadrado al año
11. R_{AP} = Rendimiento agua potable. Cantidad de litros que se pueden filtrar al año por m^2
12. R_R = Rendimiento de Ropa. Cantidad de vestimenta que se elabora al año por m^2
13. R_V = Rendimiento de las viviendas. Cantidad de vestimenta que se elabora al año por m^2
14. R_{O_2} = Rendimiento de oxígeno. Cantidad de litros de oxígeno que se producen al año por m^2 .
15. R_{EN} = Rendimiento de energía. Cantidad de watts de energía que se producen al año por m^2 .

¹Por rendimiento se da a entender que tanto satisface la necesidad por cada m^2 , en general va a ser la producción total por m^2 , pero en el caso de vivienda va a ser la cantidad de viviendas que caben en este espacio.

Variables

1. NP = Numero de personas habitando la tierra
2. N_{kcal} = Cantidad total de kilocalorías producida al año = $R_{kcal} \cdot E_{kcal}$.
3. E_{kcal} = Espacio que se usa para cultivar m^2 .
4. N_{AP} = Cantidad total de agua potable producida en Litros al año = $R_{AP} \cdot E_{AP}$
5. E_{AP} = Espacio que se usa para tratar el agua m^2 .
6. N_R = Cantidad total de ropa producida (Numero de prendas, conjuntos o metros?)
= $R_V \cdot E_R$
7. E_R = Espacio dedicado a la producción de vestimenta
8. N_{O_2} = Cantidad de oxígeno producido (*Litros*) = $R_{O_2} \cdot E_{O_2}$
9. E_{O_2} = Espacio para producción de oxígeno m^2 .
10. N_E = Energía necesaria para satisfacer todo = $C_E \cdot NP$
11. E_E = Espacio de generadores de energía en m^2 .
12. E_V = Espacio que ocupan todas las viviendas en m^2 = $M_V \cdot N_V$
13. N_V = Número de viviendas = $\frac{E_V}{M_V}$

Función objetivo

$$\max NP$$

La idea que subyace a esta función es poder maximizar la cantidad de gente que habita en la tierra. A primera vista no tiene límite, sin embargo la magia de los límites va a estar presentes en las restricciones que enumeraremos a continuación.

Restricciones

Globales

$$E_{kcal} + E_E + E_{AP} + E_R + E_{O2} \leq T_H$$

La suma de todos los espacios que se usan para cubrir las distintas necesidades, con excepción del espacio para la comida, tiene que ser menor o igual al espacio habitable. Va a ser igual en caso de que se use absolutamente todo el espacio habitable, y menor en caso contrario.

$$E_C \leq T_C$$

Indica que el espacio cultivado tiene que ser menor o igual a la tierra cultivable. Va a ser igual en caso de que se cultive en todo el espacio cultivable y menor en otro caso.

$$T_H + T_C \leq T$$

La suma de el espacio habitable y el espacio cultivable tiene que ser igual o menor a la superficie terrestre de la tierra. Va a ser igual en caso de que no existan espacio no habitables y menor en el caso contrario.

Comida

$$NP \leq \frac{N_{kcal}}{C_{kcal}}$$

El número de personas no puede ser mayor a la cantidad de comida que se produce dividida por la cantidad que necesita consumir una persona, de lo contrario habría gente sin suficiente alimento.

$$N_{kcal} = E_{kcal} \cdot R_{kcal}$$

La cantidad de kilocalorías que se produce tiene que ser igual al espacio necesario para cultivar la comida por el rendimiento que tiene un metro cuadrado de cultivo.

Vivienda

$$NP \leq N_v$$

La cantidad de personas es equivalente al número de viviendas que hay, pues asumimos que vive una persona por vivienda.

$$N_v = E_v \cdot R_v$$

El numero de viviendas que se produce tiene que ser igual al espacio necesario para viviendas por el rendimiento que tiene un metro cuadrado de vivienda.

Agua Potable

$$NP \leq \frac{N_{AP}}{C_{AP}}$$

El número de personas no puede ser mayor a la cantidad de agua potable que se produce dividida por la cantidad que necesita consumir una persona, de lo contrario habría gente sin suficiente agua.

$$N_{AP} = E_{AP} \cdot R_{AP}$$

La cantidad de agua que se produce tiene que ser igual al espacio necesario para filtrar por el rendimiento que tiene un metro cuadrado de filtradora de agua.

Ropa

$$NP \leq \frac{N_R}{C_R}$$

El número de personas no puede ser mayor a la cantidad de ropa que se produce dividida por la cantidad que se necesita para satisfacer la necesidad de vestimenta de una persona, de lo contrario habría gente sin satisfacer por completo su necesidad de vestimenta.

$$N_R = E_R \cdot R_R$$

La cantidad de ropa que se produce tiene que ser igual al espacio necesario para fabricar ropa por el rendimiento que tiene un metro cuadrado de fabrica de ropa.

Oxígeno

$$NP \leq \frac{N_{O_2}}{C_{O_2}}$$

El número de personas no puede ser mayor a la cantidad de oxígeno que se produce, dividido en la cantidad de oxígeno que necesita una persona al año. Dado que si fuese así, las personas no tendrían suficiente oxígeno.

$$N_{O_2} = E_{O_2} \cdot R_{O_2}$$

El numero de oxigeno que se produce tiene que ser igual al espacio necesario para producir oxigeno por el rendimiento que tiene un metro cuadrado de oxigeno.

Energía

$$NP \leq \frac{N_E}{C_E}$$

El número de personas no puede ser mayor a la cantidad de energía que se produce dividida por la cantidad que se necesita para satisfacer la necesidad de energía de una persona, de lo contrario habría gente sin satisfacer por completo su necesidad de energía.

$$N_E = E_E \cdot R_{EN}$$

La cantidad de energía que se produce tiene que ser igual al espacio necesario para producir esa energía por el rendimiento que tiene un metro cuadrado de energía.

Ventajas y desventajas

Desventajas

1. En los años bisiestos se tendrá un día donde no hay comida, agua o energía debido a que todos los valores estan calculados para años de 365 días y un año viciesto tiene 366.
2. El factor de que todos las personas sean adultos independientes que consumen la misma cantidad de cada uno de los distintos recursos no refleja fielmente la realidad.
3. El supuesto que trata sobre empezar la producción de comida antes de la llegada de los humanos a la tierra es poco realista e incluso imposible ya que tiene que haber personas en el planeta para trabajar la tierra y no las hay.
4. Asumir que ninguna de las plantaciones va a tener un problema y que se va a cosechar y plantar justo lo esperado es increíblemente irrealista.

Ventajas

1. El Modelo desarrollado por más de haber sido planteado en un principio con valores para sobrevivir, si uno se fija bien las cinco categorías primordiales elegidas contienen a cualquier otro tipo de espacio que puede existir. Por ejemplo: agregar cualquier otro tipo de servicio como basurales, tiendas, cárceles, edificios educacionales, edificios religiosos, hospitales, parques, espacios recreacionales, etc... Simplemente se calcula cuanto espacio en metros cuadrados se va a necesitar para cualquiera de estos servicios per cápita y se le suma al valor de metros cuadrados de vivienda para darte un nuevo valor por vivienda.

EL FUTURO

Hay una gama muy amplia de maneras para aumentar la capacidad de carga de la tierra sin embargo solo se mencionarán las de mayor influencia.

1. Aumentar el rendimiento de la comida a través de la bioingeniería, logrando que produzca más calorías en igual o menor espacio. Maureen Hanson y su equipo de la Universidad de Cornell han hecho experimentos en los cuales usan genes de cianobacterias para aumentar la velocidad con la que la planta fija el carbono. Esto produciría una mayor densidad de alimentos por metro cuadrado de plantación, y esto aumentara la producción junto a las proteínas por planta
2. Aumentar el rendimiento del oxígeno utilizando la bioingeniería para aumentar la cantidad de oxígeno que un árbol produce. Como por ejemplo el *Chrysalidocarpus Lutescens*.
3. Aumentar el rendimiento de la energía al hacer que se produzca más en el mismo o menor espacio mejorando las maquinas que producen energía.

El rendimiento que tiene la ropa no esta incluido en el listado anterior ya que aumentar el rendimiento que tiene la ropa no implicaría un cambio significativo, debido a que el modelo no es suficientemente sensible a las variables relacionadas a la ropa, por lo tanto el cambio no seria uno apreciable.

4. Aumentar el espacio cultivable al hacer posible plantar en pisos de edificios. Al cultivar en edificios el espacio cultivable dejará de ser un problema en dos dimensiones, y la solución se encuentra en la tercera dimensión.
5. Aumentar el espacio habitable al construir edificios para las personas.
6. Aumentar el espacio habitable al convertir espacio no habitable, o espacio que no es parte de la superficie terrestre, en espacio habitable. Un ejemplo de esto es la isla de sealand, una isla artificial.
7. Convertir el espacio que se ocupa en vías publicas en más espacio para viviendas.
8. Agrandar el área cultivable utilizando invernaderos.

EJEMPLIFICACIÓN

Introducción

A continuación se presentará un ejemplo del modelo en funcionamiento para poder evidenciar que va a resultar en valores razonables. Se usa la palabra razonable ya que se tendrá que adjudicar valores extraídos de la realidad actual a los parámetros, y al hacer esto, no siempre los resultados son exactos, sino más bien, aproximados.

Parámetros

1. $T_C = 0,37 \cdot T$. La tierra cultivable es igual a 0,37 (porcentaje de tierra cultivable) por la superficie terrestre. Fuente².
2. $T_H = 0,71 \cdot T$. La tierra habitable es igual a 0,71 (porcentaje de tierra habitable) por la superficie terrestre. Fuente³.
3. $T = 14894e+10$. Superficie terrestre de la tierra en m^2 . Fuente⁴.
4. $M_V = 5,4$. Área de una vivienda, basada en la medida que el comité internacional de la Cruz Roja recomienda para una celda. Fuente⁵.
5. $C_{kcal} = 547,500$. Kilocalorías que necesita una persona al año = Kilocalorías que necesita una persona al día por días en el año. Fuente⁶.
6. $C_{AP} = 2 \cdot 365$. Una persona necesita 2 litros cada día del año. Fuente⁷.
7. $C_R = 5,6 \cdot 2$. Cantidad de tela necesaria para por set de vestimenta (camisa + calzoncillos + buzo), por 2 (son necesarios dos sets anualmente). Fuente⁸.
8. $C_{O_2} = 56.210$. Oxígeno que una persona necesita al año, medido en litros. Fuente⁹.
9. $C_E = 186439080$. Watts de electricidad ocupados por una persona en un año. Fuente¹⁰.
10. $R_{kcal} = 2.743$. Producción de Kcal provenientes de soja en un m^2 en un año. Fuente¹¹.

²<https://datos.bancomundial.org/indicador/ag.lnd.agri.zs>

³<https://ourworldindata.org/land-use>

⁴https://es.wikipedia.org/wiki/Tierra#cite_note-Pidwirny_2006-10

⁵https://en.wikipedia.org/wiki/Prison_cell

⁶<http://www.dietas.net/adalgazar/cuantas-calorias-necesitas-para-sobrevivir.html#>

⁷<https://www.clinicalascondes.cl/NOTICIAS/%C2%BFCuanta-agua-tomar->

⁸<https://blog.trapitos.com.ar/calculador-de-telas/tela-para-indumentaria>

⁹<https://www.xatakaciencia.com/quimica/cuanto-oxigeno-respira-toda-humanidad>

¹⁰https://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_consumption

¹¹https://www.mujerdeelite.com/guia_de_alimentos/882/soja-en-grano

11. $R_{AP} = 321.064$. Cantidad de L de agua que se producen por m^2 al año. Fuente¹² y Fuente¹³.
12. $R_R = A$ través de una comparación de las resoluciones de los modelos adjuntos en los apéndices A y B (análisis de sensibilidad) se desprende que las variables relacionadas a la vestimenta no afectan al modelo suficientemente para ser consideradas apreciables. En otras palabras el valor del rendimiento de la vestimenta no va a afectar al modelo suficientemente para que sea necesario su inclusión. Esto se concluyó gracias a la resolución de uno de los modelos (apendice A) usando un valor exageradamente grande, y a la resolución del otro usando un valor exageradamente pequeño.
13. $R_{O_2} = 162,8$. Son los litros que se producen por m^2 al año. Un humano consume 740 kg de oxígeno al año y un árbol de sycamore produce 100 kg al año. Lo que significa que una persona necesita 7.4 arboles para tener suficiente oxígeno. Esto en litros es 651,2. El ancho de este árbol es de $4m^2$. Si dividimos 651,2 en 4 nos da la cantidad de litros por m^2 . Fuente¹⁴ y Fuente¹⁵.
14. $R_{EN} = 4.7125$. Son los Watts por m^2 que se producen al año. Esto se calculó de la siguiente manera: 377 MW convertido a Watts = 377000000 Watts dividido en 80 km^2 pasado a $m^2 = 80000000 m^2$. Fuente¹⁶ y Fuente¹⁷.

¹²[http://www.elaguapotable.com/Proceso%20potabilizaci%C3%B3n\(Sansa\).pdf](http://www.elaguapotable.com/Proceso%20potabilizaci%C3%B3n(Sansa).pdf)

¹³[https://www.google.cl/maps/dir/-27.373788,-55.9037216/-27.3739668,-55.9023346/@-27.3745406,-55.9039201,18z/data=!4m2!4m1!3e0%](https://www.google.cl/maps/dir/-27.373788,-55.9037216/-27.3739668,-55.9023346/@-27.3745406,-55.9039201,18z/data=!4m2!4m1!3e0%20)

¹⁴<https://www.sciencefocus.com/planet-earth/how-many-trees-does-it-take-to-produce-oxygen-for-one-person/>

¹⁵https://en.wikipedia.org/wiki/Platanus_occidentalis

¹⁶https://en.wikipedia.org/wiki/Rapel_Dam

¹⁷https://es.wikipedia.org/wiki/Lago_Rapel

ANÁLISIS DE LA EJEMPLIFICACIÓN

En la primera solución, presente en el apéndice A, se presentan valores relativamente incoherentes con la realidad, debido a que está adaptado a un caso en el que el grupo tiene como objetivo la cantidad máxima absoluta que es posible tener y para ello es necesario plantear el modelo para que el ser humano meramente sobreviva. Es por esto que nos podemos fijar que el espacio utilizado en la creación de consumos es bastante chica mientras que la cantidad de personas que hay es muy grande.

La respuesta del segundo modelo no difiere en casi nada con respecto a la primera y solamente existe para demostrar que el rendimiento de la ropa es despreciable, ya que la única variable distinta entre el primer y segundo modelo es esa y aun así los valores finales son, en términos generales, iguales.

La respuesta del tercer modelo demuestra una solución basada en valores que no pertenecen a una situación de supervivencia, y por lo tanto está todo el mundo más cómodo, lo que significa que hay más espacio destinado a cada persona y por lo tanto cabe menos gente en el mundo. Los valores utilizados para este modelo no son reales, simplemente son más altos con el único objetivo de demostrar que al aumentar la comodidad disminuye la capacidad de carga del mundo.

APENDICE A

Apendice A: Modelo

```
import pulp

my_lp_problem = pulp.LpProblem("My_LP_Problem", pulp.LpMaximize)

##### ----- VARIABLES ----- #####
# Numero de personas, queremos maximizar
NP = pulp.LpVariable('Np', lowBound=0, cat='Continuous')
# Cantidad de comida que se produce, cal/a~no
Nkcal = pulp.LpVariable('Nkcal', lowBound=0, cat='Continuous')
# Espacio que se ocupa para producir la comida en metros cuadrados
Ekcal = pulp.LpVariable("Ekcal", lowBound=0, cat='Continuous')
# Numero de viviendas
Nv = pulp.LpVariable("Nv", lowBound=0, cat='Continuous')
# Espacio total que ocupan las viviendas en metros cuadrados
Ev = pulp.LpVariable("Ev", lowBound=0, cat='Continuous')
# Cantidad de oxígeno que se produce, litros/a~no
No2 = pulp.LpVariable("No2", lowBound=0, cat='Continuous')
# Espacio para producción de oxígeno
Eo2 = pulp.LpVariable("Eo2", lowBound=0, cat='Continuous')
# Cantidad de agua producida litros/a~no
Nap = pulp.LpVariable("Nap", lowBound=0, cat='Continuous')
# Espacio que se usa para procesar/tratar el agua
Eap = pulp.LpVariable("Eap", lowBound=0, cat='Continuous')
# Cantidad de ropa producida al a~no
Nr = pulp.LpVariable("Nr", lowBound=0, cat='Continuous')
# espacio ocupado para producir ropa
Er = pulp.LpVariable("Er", lowBound=0, cat='Continuous')
# energía necesaria para satisfacer lo necesario
Ne = pulp.LpVariable("Ne", lowBound=0, cat='Continuous')
# espacio ocupado para producir la energía
Ee = pulp.LpVariable("Ee", lowBound=0, cat='Continuous')

##### ----- PARAMETROS ----- #####
# Superficie terrestre del planeta
T = 148940000000000
# Kilocalorías que una persona necesita al a~no
Ckcal = 1/547500
# Litros de oxígeno que una persona necesita al a~no, solo 28% porque el otro 72 viene de algas marinas
Co2 = 1/56210
# Espacio de una vivienda, 4.5 = tama~no de una celda de la cárcel
Mv = 1/5.4
```

```

# Cantidad de ropa que una persona necesita al a\~no en m2
Cr = 1/(5.6*2)
# Cantidad de agua que una persona necesita al a\~no en litros
Cap = 1/(2*365)
# energia necesitada por persona en m^2
Ce = 1/8875469
# Rendimiento de la comdia por metro cuadrado, en el a\~no
Rkcal = 2743
# Rendimiento del oxigeno por metro cuadrado, en el a\~no
Ro2 = 162
# Rendimiento del agua potabla por metro cuadrado, en el a\~no
Rap = 321064
# rendimiento de la ropa por metro cuadrado, en el a\~no
Rr = 1000
# rendimiento de energia, watts que se producen al a\~no por m^2
Ren = 4.7125
# tierra habitable (71% de la superficie terrestre)
Th = T * 0.71
# tierra cultivable (37% de la superficie terrestre)
Tc = T * 0.37

# ----- FUNCION OBJETIVO ----- #
my_lp_problem += NP, "Z"

# ----- RESTRICCIONES ----- #

# ---- RESTRICCIONES GENERALES ---- #
# suma de areas que van en espacio habitable tiene que ser menor o igual a Th
my_lp_problem += Ev + Eo2 + Eap <= Th
# suma de areas que van en espacio cultivable tienen que ser menor o igual a Tc
my_lp_problem += Ekcal <= Tc
# suma de todas las areas tiene que ser menor o igual a la superficie
my_lp_problem += Eo2 + Ekcal + Ev + Eap <= T

# ---- RESTRICCIONES PARA LAS VIVIENDAS ---- #
# el numero de personas tiene que ser menor o igual a las viviendas (1:1)
my_lp_problem += NP <= Nv
# espacio que ocupan las casas partido en el numero de casas
my_lp_problem += Nv == Ev*Mv

# ---- RESTRICCIONES PARA LA COMIDA ---- #
# numero de personas tiene que ser menor que la comida que se produce/lo que 1 come
my_lp_problem += NP <= Nkcal*Ckcal
# espacio ocupado en comida por lo que produce cada espacio = total comida prod.
my_lp_problem += Nkcal == Ekcal*Rkcal

# ---- RESTRICCIONES PARA EL OXIGENO ---- #
# numero de personas es dependiente de la cantidad de oxigeno que se produce necesa
my_lp_problem += NP <= No2*Co2
# cantidad de ixgeno producido es igual al espacio que usa por el rendimiento
my_lp_problem += No2 == Eo2*Ro2

# ---- RESTRICCIONES PARA EL AGUA ---- #
# numero de personas tiene que ser menor que el agua que se produce/lo que 1 toma
my_lp_problem += NP <= Nap*Cap
# cantidad de agua producida es igual al espacio que usa por el rendimiento
my_lp_problem += Nap == Eap*Rap

# ---- RESTRICCIONES PARA LA ROPA ---- #
# numero de personas tiene que ser menor que la ropa que se produce/lo que 1 necesita
my_lp_problem += NP <= Nr*Cr
# cantidad de ropa producida es igual al espacio que usa por el rendimiento
my_lp_problem += Nr == Er*Rr

# ---- RESTRICCIONES PARA LA ENERGIA ---- #
# numero de personas tiene que ser menor que la energia que se produce/energia necesaria por persona
my_lp_problem += NP <= Ne*Ce
# cantidad de energia producida es igual al espacio que usa por el rendimiento
my_lp_problem += Ne == Ee*Ren

print(my_lp_problem.solve())
print(pulp.LpStatus[my_lp_problem.status])

for variable in my_lp_problem.variables():
    print("{}_{}".format(variable.name, variable.varValue))

```

Apendice A: Solución

```

Optimal
Eap = 613510440.0
Ee = 5.0819532e+17
Ekcal = 53857852000000.0
Eo2 = 93624451000000.0
Er = 30220993000.0

```



```
Ev = 1457083600000.0  
NP = 269830300000.0  
Nap = 196976120000000.0  
Ne = 2.3948704e+18  
Nkcal = 1.4773209e+17  
No2 = 1.5167161e+16  
Nr = 3022099300000.0  
Nv = 269830300000.0
```

```
Process finished with exit code 0
```

APENDICE B

Apendice B: Modelo

```
import pulp

my_lp_problem = pulp.LpProblem("My_LP_Problem", pulp.LpMaximize)

##### ----- VARIABLES ----- #####
# Numero de personas, queremos maximizar
NP = pulp.LpVariable('NP', lowBound=0, cat='Continuous')
# Cantidad de comida que se produce, cal/a~no
Nkcal = pulp.LpVariable('Nkcal', lowBound=0, cat='Continuous')
# Espacio que se ocupa para producir la comida en metros cuadrados
Ekcal = pulp.LpVariable("Ekcal", lowBound=0, cat='Continuous')
# Numero de viviendas
Nv = pulp.LpVariable("Nv", lowBound=0, cat='Continuous')
# Espacio total que ocupan las viviendas en metros cuadrados
Ev = pulp.LpVariable("Ev", lowBound=0, cat='Continuous')
# Cantidad de oxígeno que se produce, litros/a~no
No2 = pulp.LpVariable("No2", lowBound=0, cat='Continuous')
# Espacio para producción de oxígeno
Eo2 = pulp.LpVariable("Eo2", lowBound=0, cat='Continuous')
# Cantidad de agua producida litros/a~no
Nap = pulp.LpVariable("Nap", lowBound=0, cat='Continuous')
# Espacio que se usa para procesar/tratar el agua
Eap = pulp.LpVariable("Eap", lowBound=0, cat='Continuous')
# Cantidad de ropa producida al a~no
Nr = pulp.LpVariable("Nr", lowBound=0, cat='Continuous')
# espacio ocupado para producir ropa
Er = pulp.LpVariable("Er", lowBound=0, cat='Continuous')
# energia necesaria para satisfacer lo necesario
Ne = pulp.LpVariable("Ne", lowBound=0, cat='Continuous')
# espacio ocupado para producir la energia
Ee = pulp.LpVariable("Ee", lowBound=0, cat='Continuous')

##### ----- PARAMETROS ----- #####
# Superficie terrestre del planeta
T = 148940000000000
# Kilocalorias que una persona necesita al a~no547500
Ckcal = 1/547500
# Litros de oxígeno que una persona necesita al a~no, solo 28% porque el otro 72 viene de algas marinas
Co2 = 1/56210
# Espacio de una vivienda, 4.5 = tama~no de una celda de la carcel
Mv = 1/5.4
# Cantidad de ropa que una persona necesita al a~no en m2
Cr = 1/(5.6*2)
# Cantidad de agua que una persona necesita al a~no en litros
Cap = 1/(2*365)
# energia necesitada por persona en m^2
Ce = 1/8875469
# Rendimiento de la comida por metro cuadrado, en el a~no 2743
Rkcal = 2743
# Rendimiento del oxígeno por metro cuadrado, en el a~no
Ro2 = 162
# Rendimiento del agua potable por metro cuadrado, en el a~no
Rap = 321064
# rendimiento de la ropa por metro cuadrado, en el a~no
Rr = 10000000000000
# rendimiento de energia, watts que se producen al a~no por m^2
Ren = 4.7125
# tierra habitable (71% de la superficie terrestre)
Th = T * 0.71
# tierra cultivable (37% de la superficie terrestre)
Tc = T * 0.37

# ----- FUNCION OBJETIVO ----- #
my_lp_problem += NP, "Z"

# ----- RESTRICCIONES ----- #

# ---- RESTRICCIONES GENERALES ---- #
# suma de areas que van en espacio habitable tiene que ser menor o igual a Th
my_lp_problem += Ev + Eo2 + Eap <= Th
# suma de areas que van en espacio cultivable tienen que ser menor o igual a Tc
my_lp_problem += Ekcal <= Tc
# suma de todas las areas tiene que ser menor o igual a la superficie
my_lp_problem += Eo2 + Ekcal + Ev + Eap <= T

# ---- RESTRICCIONES PARA LAS VIVIENDAS ---- #
# el numero de personas tiene que ser menor o igual a las viviendas (1:1)
my_lp_problem += NP <= Nv
# espacio que ocupan las casas partido en el numero de casas
my_lp_problem += Nv == Ev*Mv

# ---- RESTRICCIONES PARA LA COMIDA ---- #
```

```

# numero de personas tiene que ser menor que la comida que se produce/lo que 1 come
my_lp_problem += NP <= Nkcal*Ckcal
# espacio ocupado en comida por lo que produce cada espacio = total comida prod.
my_lp_problem += Nkcal == Ekcal*Rkcal

# ----- RESTRICCIONES PARA EL OXIGENO ----- #
# numero de personas es dependiente de la cantidad de oxigeno que se produce necesita
my_lp_problem += NP <= No2*Co2
# cantidad de oxigeno producido es igual al espacio que usa por el rendimiento
my_lp_problem += No2 == Eo2*Ro2

# ----- RESTRICCIONES PARA EL AGUA ----- #
# numero de personas tiene que ser menor que el agua que se produce/lo que 1 toma
my_lp_problem += NP <= Nap*Cap
# cantidad de agua producida es igual al espacio que usa por el rendimiento
my_lp_problem += Nap == Eap*Rap

# ----- RESTRICCIONES PARA LA ROPA ----- #
# numero de personas tiene que ser menor que la ropa que se produce/lo que 1 necesita
my_lp_problem += NP <= Nr*Cr
# cantidad de ropa producida es igual al espacio que usa por el rendimiento
my_lp_problem += Nr == Er*Rr

# ----- RESTRICCIONES PARA LA ENERGIA ----- #
# numero de personas tiene que ser menor que la energia que se produce/energia necesaria por persona
my_lp_problem += NP <= Ne*Ce
# cantidad de energia producida es igual al espacio que usa por el rendimiento
my_lp_problem += Ne == Ee*Ren

print(my_lp_problem.solve())
print(pulp.LpStatus[my_lp_problem.status])

for variable in my_lp_problem.variables():
    print("{}_={}".format(variable.name, variable.varValue))

```

Apendice B: Solución

```

Optimal
Eap = 613510440.0
Ee = 5.0819532e+17
Ekcal = 53857852000000.0
Eo2 = 93624451000000.0
Er = 0.30220993
Ev = 1457083600000.0
NP = 269830300000.0
Nap = 196976120000000.0
Ne = 2.3948704e+18
Nkcal = 1.4773209e+17
No2 = 1.5167161e+16
Nr = 3022099300000.0
Nv = 269830300000.0

```

```
Process finished with exit code 0
```

APENDICE C

Apendice C: Modelo

```
import pulp

my_lp_problem = pulp.LpProblem("My_LP_Problem", pulp.LpMaximize)

##### ----- VARIABLES ----- #####
# Numero de personas, queremos maximizar
NP = pulp.LpVariable('NP', lowBound=0, cat='Continuous')
# Cantidad de comida que se produce, cal/a~no
Nkcal = pulp.LpVariable('Nkcal', lowBound=0, cat='Continuous')
# Espacio que se ocupa para producir la comida en metros cuadrados
Ekcal = pulp.LpVariable("Ekcal", lowBound=0, cat='Continuous')
# Numero de viviendas
Nv = pulp.LpVariable("Nv", lowBound=0, cat='Continuous')
# Espacio total que ocupan las viviendas en metros cuadrados
Ev = pulp.LpVariable("Ev", lowBound=0, cat='Continuous')
# Cantidad de oxígeno que se produce, litros/a~no
No2 = pulp.LpVariable("No2", lowBound=0, cat='Continuous')
# Espacio para producción de oxígeno
Eo2 = pulp.LpVariable("Eo2", lowBound=0, cat='Continuous')
# Cantidad de agua producida litros/a~no
Nap = pulp.LpVariable("Nap", lowBound=0, cat='Continuous')
# Espacio que se usa para procesar/tratar el agua
Eap = pulp.LpVariable("Eap", lowBound=0, cat='Continuous')
# Cantidad de ropa producida al a~no
Nr = pulp.LpVariable("Nr", lowBound=0, cat='Continuous')
# espacio ocupado para producir ropa
Er = pulp.LpVariable("Er", lowBound=0, cat='Continuous')
# energia necesaria para satisfacer lo necesario
Ne = pulp.LpVariable("Ne", lowBound=0, cat='Continuous')
# espacio ocupado para producir la energia
Ee = pulp.LpVariable("Ee", lowBound=0, cat='Continuous')

##### ----- PARAMETROS ----- #####
# Superficie terrestre del planeta
T = 148940000000000
# Kilocalorias que una persona necesita al a~no 547500
Ckcal = 1/912500
# Litros de oxígeno que una persona necesita al a~no, solo 28% porque el otro 72 viene de algas marinas
Co2 = 1/56210
# Espacio de una vivienda, 4.5 = tama~no de una celda de la carcel
Mv = 1/25
# Cantidad de ropa que una persona necesita al a~no en m2
Cr = 1/(56)
# Cantidad de agua que una persona necesita al a~no en litros
Cap = 1/54750
# energia necesitada por persona en m^2
Ce = 1/8875469
# Rendimiento de la comida por metro cuadrado, en el a~no 2743
Rkcal = 2743
# Rendimiento del oxígeno por metro cuadrado, en el a~no
Ro2 = 162
# Rendimiento del agua potable por metro cuadrado, en el a~no
Rap = 321064
# rendimiento de la ropa por metro cuadrado, en el a~no
Rr = 100000
# rendimiento de energia, watts que se producen al a~no por m^2
Ren = 4.7125
# tierra habitable (71% de la superficie terrestre)
Th = T * 0.71
# tierra cultivable (37% de la superficie terrestre)
Tc = T * 0.37

# ----- FUNCION OBJETIVO ----- #
my_lp_problem += NP, "Z"

# ----- RESTRICCIONES ----- #

# ---- RESTRICCIONES GENERALES ---- #
# suma de areas que van en espacio habitable tiene que ser menor o igual a Th
my_lp_problem += Ev + Eo2 + Eap <= Th
# suma de areas que van en espacio cultivable tienen que ser menor o igual a Tc
my_lp_problem += Ekcal <= Tc
# suma de todas las areas tiene que ser menor o igual a la superficie
my_lp_problem += Eo2 + Ekcal + Ev + Eap <= T

# ---- RESTRICCIONES PARA LAS VIVIENDAS ---- #
# el numero de personas tiene que ser menor o igual a las viviendas (1:1)
my_lp_problem += NP <= Nv
# espacio que ocupan las casas partido en el numero de casas
my_lp_problem += Nv == Ev*Mv

# ---- RESTRICCIONES PARA LA COMIDA ---- #
```

```

# numero de personas tiene que ser menor que la comida que se produce/lo que 1 come
my_lp_problem += NP <= Nkcal*Ckcal
# espacio ocupado en comida por lo que produce cada espacio = total comida prod.
my_lp_problem += Nkcal == Ekcal*Rkcal

# ----- RESTRICCIONES PARA EL OXIGENO ----- #
# numero de personas es dependiente de la cantidad de oxigeno que se produce necesita
my_lp_problem += NP <= No2*Co2
# cantidad de oxigeno producido es igual al espacio que usa por el rendimiento
my_lp_problem += No2 == Eo2*Ro2

# ----- RESTRICCIONES PARA EL AGUA ----- #
# numero de personas tiene que ser menor que el agua que se produce/lo que 1 toma
my_lp_problem += NP <= Nap*Cap
# cantidad de agua producida es igual al espacio que usa por el rendimiento
my_lp_problem += Nap == Eap*Rap

# ----- RESTRICCIONES PARA LA ROPA ----- #
# numero de personas tiene que ser menor que la ropa que se produce/lo que 1 necesita
my_lp_problem += NP <= Nr*Cr
# cantidad de ropa producida es igual al espacio que usa por el rendimiento
my_lp_problem += Nr == Er*Rr

# ----- RESTRICCIONES PARA LA ENERGIA ----- #
# numero de personas tiene que ser menor que la energia que se produce/energia necesaria por persona
my_lp_problem += NP <= Ne*Ce
# cantidad de energia producida es igual al espacio que usa por el rendimiento
my_lp_problem += Ne == Ee*Ren

print(my_lp_problem.solve())
print(pulp.LpStatus[my_lp_problem.status])

for variable in my_lp_problem.variables():
    print("{}_={}".format(variable.name, variable.varValue))

```

Apendice C: Solución

```

Optimal
Eap = 28248703000.0
Ee = 3.1199379e+17
Ekcal = 55107800000000.0
Eo2 = 57478388000000.0
Er = 92767112.0
Ev = 4141388900000.0
NP = 165655560000.0
Nap = 9069641700000000.0
Ne = 1.4702708e+18
Nkcal = 1.511607e+17
No2 = 9311498800000000.0
Nr = 9276711200000.0
Nv = 165655560000.0

```

```
Process finished with exit code 0
```