



Proyecto Final

Versión Técnica

Optimización entre Costos y Nutrición en Dieta Vegetariana Cruda

Matemáticas Discretas

I.I.M.A.S.

U.N.A.M

Alfonso Barajas Cervantes

Dr. Leonardo Ignacio Martínez Sandoval

Víctor Hugo Almendra Hernández

5 de febrero del 2021

1. Introducción

La especie *homo sapiens*, del latín "*homo*" que significa hombre y "*sapiens*" que significa sabio, perteneciente a la familia de los homínidos, un animal pensante mamífero que surge en este planeta alrededor de hace 300,000 años. Surgiendo como una especie hervívora que solamente obtiene los alimentos como los ofrece la naturaleza, tal como cualquier animal que habita en el planeta Tierra. Sin embargo, paso alrededor de 290,000 años, es decir, hace 10,000 años, el ser humano en su inteligencia descubrió dos grandes cosas:

- La agricultura: Cultivar y producir alimentos
- Uso del Fuego para cocinar

Siendo así, la única especie del reino animal que cocina sus alimentos, así como ser la primera especie que resolvió existencial de todas las especies. El cual todas las especies que habitan en la tierra, ocupan su tiempo en la búsqueda de alimentos, en reproducirse y dormir. El ser humano es la única especie, de entre medio millón de animales, que resolvió el problema de la alimentación.

La invención de la *agricultura*, el desarrollo tecnológico más importante de la historia de la humanidad, mucho más importante que la invención de los teléfonos celulares, los aviones o los carros, e inclusive que las computadoras me atrevería a decirlo, ya que para que se pudieran tener grandes avances en cualquier campo de la ciencia, se debió de atacar primero el problema de la alimentación. Lo pondré más claro con este refrán: "*Barriga llena, corazón contento*", nada más que además de ser felices, ahora nos permitió pensar y a filosofar, así como todos los grandes avances que han ocurrido desde hace cerca de 10,000 años.

Así que, el ser humano al descubrir esta gran forma de producir alimentos en exceso por medio de la agricultura, y entre una de sus formas de desarrollo es la cultura de la cocina o la *Gastronomía*. Descubriendo que los alimentos cocinados saben demasiado ricos, de manera que se empezó a incluir a la dieta del ser humano los cereales, tales como: tortillas, pan y arroz cocidos. Agregando las leguminosas como la soya y los frijoles que comenzaron a agregar a su dieta. Y que más adelante se descubrió que se puede hornear y freír, de manera que el ser humano seguía siendo muy feliz como lo describía con el refrán. Desarrollando las grandes civilizaciones gracias al excedente de alimentos a través de la agricultura.

Aunado a los grandes avances de la ciencia y tecnología, el ser humano hace 10,000 años, se desarrolla toda una tradición cultural en cada región acerca de cocinar los alimentos. Siendo así parte importante de la economía, la industria de los alimentos, se vuelve la actividad más importante económica, social, cultural. Tan importante que se desarrolla toda una carrera alrededor de esta cultura, la *Gastronomía*, volviéndose así una especialidad gourmet el hecho de cocinar.

El ser humano teniendo cerca de 290,000 años de tener dieta vegetariana cruda, tras la invención de la agricultura y del uso del fuego en la alimentación, aunado a la invención de la ganadería y el desarrollo de la cocina, cerca de 10,000 años surgió todo un cambio **cultural** de modelo alimenticio denominado *omnívoro*. Como dice un antiguo dicho español que "en el pecado lleva la penitencia", y es que antes el promedio de vida de un ser humano rondaba de entre 35 años en promedio y no se podía notar los efectos bastante nocivos para la salud que traía consigo el cambio de dieta. Por tanto, se tiene el pensamiento de que el ser humano podía comer lo que sea (dieta omnívora) sin sentir los efectos de la **vejez** al morir temprano. Sin embargo, ahora con los grandes avances científicos el tiempo de vida se prolongó en promedio a más del doble, en México son 72 para los hombres y 78,0 para las mujeres en 2019 de acuerdo a datos de la *INEGI*. [2]

Se ha demostrado científicamente por medio del genoma humano, que la especie *homo sapiens* puede vivir 120 años y de manera saludable. Sin embargo, por medio de la ciencia y los avances que se han tenido lo hemos podido aumentar de entre 60,9–86,3 años, alrededor de $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ de la capacidad de vida del ser humano, y eso sin contar con qué calidad de vida se vive, valga la redundancia. La solución a este problema de calidad de vida, las enfermedades

y los años de vida se ponen a prueba con el método científico, por medio de la dieta vegetariana cruda, como lo hacíamos los seres humanos u *homo sapiens* antes del desarrollo de la agricultura y el descubrimiento del uso del fuego en la cocina.

El objetivo ideal de la ciencia es la búsqueda de la verdad a través de la observación, experimentación como hace 2000 años lo planteaban Aristóteles, Platón, y cerca de hace 200 años el desarrollo del método científico. Un aspecto fundamental de la Ciencia es que su primer precepto es el no tomar como verdad absoluta lo que se cree. Que la cultura dice que la Tierra es plana, pues desde los tiempos pitagóricos aludían a una Tierra esférica por medio de las matemáticas, que la cultura menciona que la Tierra es el centro del Universo, Nicolás Copérnico por medio de cálculos y observaciones concluyó que realmente la Tierra gira alrededor del Sol y no al revés. Hay muchísimas aseveraciones como estas que la ciencia desmiente y rectifica con la verdad. Es así con el modelo alimenticio. La cultura menciona que nuestra dieta alimenticia debe de ser omnívora y cocinada. Sin embargo, sabemos que en la ciencia no se le cree nada a nadie y se van a realizar mediciones, experimentos, etc...

El planteamiento a solucionar es que si la especie humana es omnívora, herbívora, carnívora o carroñeros. Cerca de 40 años de investigación científica en la Universidad de Chapingo, a cargo del Dr. Erick Estrada Lugo, de que los científicos del naturismo europeo y sudamericano, que tienen historia desde hace 100 años, están en lo cierto de acuerdo a su postulación que es la siguiente:

El ser humano es una especie herbívora por naturaleza. La recuperación de la salud se obtiene tras no debe de consumir nada de origen animal como carne, leche, huevo y sus derivados ”

Si se desea conocer más sobre este modelo herbívoro para el ser humano y las investigaciones realizadas se dispone de la referencia [1].

2. Planteamiento del problema a Resolver

Se tiene la idea de que el consumir alimentos pertenecientes a una dieta crudivegana que comprenden entre las frutas, verduras y semillas oleaginosas son bastante caros y no cualquiera puede consumir este tipo de dieta. Sin embargo, esto no es así. Inclusive se podría consumir mejor alimento nutricional cambiando totalmente la dieta omnívora a la dieta vegetariana cruda, y salvando dinero a nuestro bolsillo. Por lo que el planteamiento es que dada la lista de las frutas, verduras, y semillas oleaginosas obtener para cada uno la mejor combinación posible que optimice la nutrición pero con un presupuesto fijo de d pesos mexicanos (MXN)

Por lo tanto, de acuerdo a un precio fijo d pesos mexicanos, se planteará para cada tipo de alimento la mejor forma de optimizar el dinero consiguiendo la mayor cantidad posible de kilogramos de fruta, de verduras y semillas oleaginosas para una persona o inclusive varias. De acuerdo a las investigaciones realizadas por el Dr. Erick Estrada, que totalmente concuerdan con grandes institutos de nutrición de Inglaterra, Alemania y Sudamérica se debe de consumir aproximadamente 10 variedades distintas de frutas al día de manera que sean 900 gr al día, 10 variedades distintas de verduras de manera que sean 900gr al día y de 6 a 7 cucharadas copeteadas de una mezcla de semillas oleaginosas, que mínimo deben de ser 3 Ajonjolí, Linaza y Chia.

A manera de resumen, tenemos que el planteamiento del problema a resolver es justamente dado un presupuesto d en pesos mexicanos, se planteará la mejor combinación posible de frutas, verduras, semillas para una semana. De manera que se rinda peso a peso la compra de alimentos de calidad para la nutrición de la persona o familia. Además para comprar fruta en los comercios más baratos o tiendas sobre ruedas se compran por kilo completo las frutas y verduras, mientras que si podemos comprar fracciones de kilogramo en las semillas oleaginosas.

Otra suposición que se realiza para resolver el problema es que no se cuenta con el dinero suficiente para comprar todos los kilos de fruta, de verdura o de semillas oleaginosas, sino que contamos con el dinero justo para comprar lo suficiente pero que rinda lo mayor posible. Este problema que se quiere solucionar es para que las personas que han sido afectadas por la pandemia con la pérdida de un familiar que sustentaba el hogar, o por la

pérdida del trabajo, no se cuenta con todo el dinero suficiente para comprar de más, o en exceso sino que con ayuda de las matemáticas y algoritmos computacionales se hará rendir el presupuesto de la persona para la calidez nutricional.

3. Modelación matemática y suposiciones

3.1. Suposiciones

Primeramente, las suposiciones que se tuvieron que realizar este problema es que se dará un presupuesto semanal en la entrada del algoritmo, que es bastante menor a \$5,000 y se tiene que elegir entre una fruta u otra debido a su valor nutricional. Ya que seguramente con \$8,000 pesos puedes comprar al menos un kilo por cada alimento que se encuentra en la base de datos. Es decir, que se considerará el caso promedio de mexicanos en la que su sueldo es de entre \$3,696 y \$7,393 pesos mensuales, que no todo el dinero se lo gastan en comida. Si no que tienen distintos gastos con médicos, transporte, escuela, gas, luz, electricidad, agua, internet, etc...

Otra suposición importante a realizar es que no importará la edad, sexo, ni peso, ni tampoco si la persona se encuentra enferma para ponderar los alimentos de acuerdo a sus ajustes nutricionales. Esto con el fin de dirigir la audiencia a la mayoría de la población y facilitar la generación del algoritmo, de hecho esto se prevee como un trabajo a futuro, (sección 9.1). Agregando que la última suposición que se realizó fue la de agregar su valor a cada alimento para el algoritmo de acuerdo a los requerimientos nutricionales que se deben de satisfacer primero y de acuerdo a su periodicidad como se menciona en [1], es decir se tomará el valor de 5 para aquella fruta que se requiere consumir diario y que es esencial para los requerimientos de toda persona. Mientras que 2 no se considera tan necesario ni vital pero si contribuye a una gran salud, debido a sus beneficios nutricionales.

La última suposición, como en la vida real, es que la mayoría de los lugares que son baratos te venden las frutas, verduras y semillas que *no son mayoristas* te venden el kilo **completo**, tanto en frutas como en verduras. Además, la otra suposición es que las semillas oleaginosas si se pueden comprar fracciones de 1Kg debido a su precio bastante elevado. Incluyendo que la suposición de que se comprarán los alimentos en tiendas de minoreo como en los tianguis o mercados sobre rueda, ya que son más económicos a que si se comprase en tiendas de auto-servicio. No se tomará en cuenta las tiendas de mayoreo, ese sería otro tipo de modelo. Incluimos el hecho de que se comprará de manera semanal la lista de frutas y verduras, por lo que no se podrá comprar dos kilos de cierto elemento a la semana. Esto con el fin de que exista más diversidad en cuanto a la fruta, verdura y semillas. Por último, se agregó la suposición de acuerdo a la experiencia para distribuir el presupuesto para cada alimento dentro de la dieta, las siguientes proporciones:

- Frutas: 40 % del presupuesto dado.
- Verduras: 20 % del presupuesto dado.
- Semillas Oleaginosas: 40 % del presupuesto dado.

Claro, de hecho se podría simular y observar con precisión decimal las correspondientes porcentajes que maximicen, pero será tema también para un trabajo futuro. Se considera el precio que se encuentra en la Base de Datos, por kilogramo de dicho alimento.

3.2. Modelación Matemática

Para desarrollar el correcto modelo se debe de definir de manera correcta y abstracta el problema de la vida real, para que podamos trabajar con este problema con ayuda de las matemáticas y su implementación respectiva para darle una solución al problema.

Se tiene una gran variedad de opciones para elegir frutas, cerca de 54 opciones en la mayoría de los mercados nacionales, gran variedad de verduras, alrededor de 53 opciones, mientras que para las semillas oleaginosas tenemos cerca de 12 opciones. La pregunta que nos hacemos es la siguiente, si existirá una forma tal que obtenga

el mayor nivel nutricional por cada peso que invierta en mi alimentación. Por lo tanto, lo que se plantea es la optimización de costos y la maximización de los requerimientos nutricionales de los alimentos que compramos, es decir, lo que se busca es que cada peso que gastemos o que se invierta para que nuestra salud física este al máximo, así como las defensas ante agentes dañinos al cuerpo humano esten con el debido potencial para atacarlos, rinda lo más posible.

Así que, cuál sería una forma ingeniosa de atacar este problema con ayuda de algoritmos de matemáticas discretas y que nos brinde con toda certeza la mejor forma de optimizar los recursos finitos que tenemos con respecto al valor nutricional. Para ello, se realizó una analogía con el problema de Knapsack, que se describirá a continuación.

4. Enunciado del problema algorítmico en su versión general y formal

Descripción formal del 0 – 1 Knapsack problem.

Dados dos arreglos n –dimensionales de números positivos

$$(v_1, v_2, \dots, v_n) \quad \text{y} \quad (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$$

y $W > 0$, lo que se desea determinar es el subconjunto $T \subseteq \{1, 2, \dots, n\}$ de manera que:

$$\begin{aligned} &\text{maximice} \quad \sum_{i \in T} v_i, \\ &\text{sujeto a} \quad \sum_{i \in T} \omega_i \leq W. \end{aligned}$$

De manera que tenemos un problema de optimización que se podría realizar con fuerza bruta pero, tenemos bastantes elementos de manera que nos tomaría tiempo $O(2^n)$, y esto tomaría bastante tiempo, conforme n crece. Por lo tanto, en las estrategias de diseño de algoritmos se busca la mejor manera de optimizar este algoritmo.

5. Propuesta de solución (Algoritmos combinatorios)

El aspecto importante que se consideró es cómo obtener la forma de optimizar los kilogramos que compramos con respecto a su precio. Por lo tanto, se llegó a notar una analogía que hay entre esta forma de optimizar con el algoritmo de Knapsack que puede ser 0/1 o el que permite fracciones. Sin embargo, el problema era notar quién era el valor y el peso. Notamos que una forma de estandarizar los precios respectivos, era dándolo por kilogramo. Que es justamente el que aplicamos en esta base de datos. Por lo tanto, todos se iban a dar el precio por kilogramo de determinada fruta. Y el hacer esto, justamente sería sumamente sencillo aplicar solamente un algoritmo de ordenamiento como *Merge Sort*, y listo, tomar del menor al mayor y sería una aplicación trivial, que no aplica para este proyecto.

Entonces debemos de hallar otra métrica que nos diferencie de un producto a otro. Además, se tomará el precio del alimento como el peso de cada objeto en el knapsack y el límite de peso que podemos llevar en la mochila sería justamente el precio que tenemos como presupuesto. Por lo que se agregó una tabla en la base de datos, la que nos indica el valor que se tiene con respecto a otro alimento, como se describió en las suposiciones. Esto con ayuda del libro de Dr. Erick Estrada [1]. Un ejemplo, se menciona que siempre se debe de consumir aunque sea un aguacate diario, frutos rojos y frutos cítricos por sus debidas razones que expone en [1], por lo que se agregará el valor de 5, mientras que los cereales tales como la avena se les asigna 2, dado que no es tan fundamental para la dieta pero si tiene grandes beneficios

De manera que ya tenemos todos datos necesarios y suposiciones para aplicar el algoritmo mencionado Knapsack 0/1 y el Knapsack fraccional. Lo que se hará es aplicar este algoritmo para encontrar la mejor combinación

posible de elegir comprar un kilo de frutas o verduras, de manera que tomemos el mayor valor con respecto a los distintos valores de los alimentos, considerando nuestro límite de peso, que en este caso es el precio. Es decir, se tomará la mejor manera de tomar el kilo de la fruta(verdura) de manera que se maximice el valor nutricional teniendo en cuenta la restricción del presupuesto respectivo (Respectiva distribución del presupuesto en suposiciones). Por lo tanto, el arreglo $\text{Weight} = [\omega_1, \dots, \omega_n]$ será la restricción donde cada $\omega_i = \$$ por kilogramo de fruta/verdura y $\text{Value} = [v_1, \dots, v_n]$ donde cada $v_i = \text{Valor nutricional en escala del 2 al 5}$. De acuerdo a investigaciones de Dr. Erick Estrada, publicadas en libro [1]

Por último, tenemos dado el presupuesto para las semillas oleaginosas que será el máximo peso para nuestro Knapsack, podemos tomar fracciones de cada kilo de semilla oleaginosa, y por tanto tenemos de manera similar descrita que el arreglo $\text{Weight} = [\omega_1, \dots, \omega_n]$ será la restricción donde cada $\omega_i = \$$ por kilogramo de semilla oleaginosa y $\text{Value} = [v_1, \dots, v_n]$ donde cada $v_i = \text{Valor nutricional en escala del 2 al 5}$, donde el precio influye en esta escala.

6. Estrategias de diseño de algoritmos o estructuras de datos usados

Una forma que ya se mencionó, es justo decidir si lo tomo o no lo tomo, y este algoritmo si hacemos todo el árbol de decisiones nos tomaría cerca de $O(2^n)$ con n es el número de ítems que estaremos checando, el más largo es el de las frutas con 54 ítems. Por lo que nos tardaríamos cerca de 70,000 años si mi computadora hace cerca de 1,500,000 operaciones por segundo. Por lo tanto, este tipo de algoritmo de fuerza bruta no nos conviene. ¿Habría otra manera de solucionarlo?

Podremos tomar la estrategia de Divide y Vencerás, en el que se parte el problema en sub-problemas, luego solucionamos los pequeños sub-problemas y luego combinamos las soluciones para que nos devuelva la solución al problema original. Sin embargo, esto no es posible debido a que los problemas no son independientes, es decir que existen subproblemas que comparten subproblemas, por lo que hará más trabajo del necesario y nos tomará bastante tiempo.

Por lo tanto, tipo de estrategia que se ocupo fue la idea de ocupar la Programación dinámica para resolver este tipo de problemas de optimización. De manera que la idea principal de este algoritmo Knapsack con la idea de Programación Dinámica sería el realizar las soluciones de los sub-problemas del sub-problema una vez, y guardar estas soluciones locales en una tabla para que puedan ser ocupadas después. Lo que haremos es justamente sacrificar la complejidad en el espacio con el fin de mejorar la complejidad asintótica en el tiempo.

Por lo tanto, se definieron ya las estrategias distintas para la solución del algoritmo de Knapsack 0 – 1, y las estructuras de datos a utilizar dentro de nuestro algoritmo mencionado será justamente una matriz de tamaño $n \times W$, y en el resto del programa se ocuparán arreglos para guardar los valores del knapsack, los nombres de los alimentos, los pesos del knapsack (precios del alimento), y los índices para que una vez realizado el algoritmo, nos devuelva aquellos índices que corresponden a los ítems a elegir respectivamente.

7. Análisis de correctitud, análisis asintótico de tiempo y espacio

```
def knapsack_dp(W, wt, val, n):
    # Matriz DP
    K = [[0 for w in range(W + 1)]
          for i in range(n + 1)]
    # Lista para guardar indices de elementos
    items = []
    # Se construye la matriz K[][] desde abajo
    # hasta arriba
```

```

for i in range(n + 1):
    for w in range(W + 1):
        if i == 0 or w == 0:
            K[i][w] = 0
        elif wt[i - 1] <= w:
            K[i][w] = max(val[i - 1]
                          + K[i - 1][w - wt[i - 1]],
                          K[i - 1][w])
        else:
            K[i][w] = K[i - 1][w]

# Resultado del Knapsack
res = K[n][W]
#print(res)

#Nos movemos en la matriz para obtener
#Los items que fueron seleccionados
w = W
for i in range(n, 0, -1):
    if res <= 0:
        break
    if res == K[i - 1][w]:
        continue
    else:
        # Este item fue elegido
        items.append((i - 1))

        # Como su peso fue incluido
        # su valor es reducido
        res = res - val[i - 1]
        w = w - wt[i - 1]

return items

```

Análisis de la correctitud: Donde debemos de checar su correctitud es justamente en la parte recursiva que siempre se esta tomando en cuenta el valor máximo, y justo sucede en el paso recursivo $K[i][w] = \max(val[i - 1] + K[i - 1][w - wt[i - 1]], K[i - 1][w])$, para $1 \leq i \leq n, 0 \leq w \leq W$, entonces justo esto es lo que debemos de demostrar, y tenemos que este algoritmo realmente hace lo que queremos. Y es que suceden dos casos cuando realizamos $k[i][w]$ para el elemento i :

- **Dejar el elemento i .** Entonces tenemos que lo mejor valor que tenemos para los elementos $\{1, 2, \dots, i - 1\}$ con limite de precio w es justamente $k[i - 1][w]$
- **Tomar el elemento i ,** (solamente es posible si $w_i \leq w$): Entonces ganamos v_i de valor nutricional, pero habremos gastado w_i pesos mexicanos de nuestro presupuesto. Por lo tanto, lo mejor que podemos hacer con los elementos restantes $\{1, 2, \dots, i - 1\}$ y presupuesto $(w - w_i)$ es justamente $K[i - 1][w - wt[i - 1]]$. Por lo que, al final tenemos el valor $v_i + K[i - 1][w - wt[i - 1]]$

Notemos que si $w_i > w$, entonces $v_i + K[i - 1][w - wt[i - 1]] = -\infty$, por lo que al haber cubierto todos los casos, tenemos que es correcto nuestro algoritmo.

Análisis de Tiempo y Espacio: Se tiene justamente que tendremos que llenar todas las entradas de la matriz $K[i][w]$ con $1 \leq i \leq n, 0 \leq w \leq W$, como se puede observar en el doble ciclo *for* donde en uno es hasta n con n la cantidad de items, mientras que el otro es hasta W que es el límite de nuestro Knapsack, en nuestro caso, el presupuesto. Por tanto, tenemos que la complejidad en tiempo será de $O(n \cdot W)$. Este le supera, en tiempo asintótico al siguiente ciclo *for* desde 0 a n . Por lo tanto, dado que $O(n) \ll O(n \cdot W) \approx O(n^2)$, tenemos que el

tiempo asintótico es de $O(n \cdot W)$. Ahora bien, tenemos un arreglo de tamaño n y una matriz de tamaño $n \times W$. Por lo tanto, tenemos que la complejidad en Espacio es justamente de $O(n \cdot W)$. Por lo que, ambas complejidades en espacio y tiempo son los mismos $O(n \cdot W)$.

```
def Knapsack_frac(v, w, W):
    order = sort_proportion(v, w)
    weight = 0.0
    value = 0.0
    knapsack = []
    n = len(v)
    i = 0
    while (weight < W) and (i < n):
        if weight + w[order[i]] <= W:
            knapsack.append((order[i], 1.0))
            weight = weight + w[order[i]]
            value = value + v[order[i]]
        else:
            fraction = (W - weight) / w[order[i]]
            knapsack.append((order[i], fraction))
            weight = W
            value = value + v[order[i]] * fraction
        i = i + 1
    return (knapsack, value)

# Ordenamos la lista en orden descendente por la razon de A[i] en N[i]
# pero en vez de re-ordenar A y B, guardamos el orden en
# un arreglo a parte.
def sort_proportion(A, B):
    n = len(A)
    order = list(range(n))
    for i in range(n - 1, 0, -1):
        for j in range(0, i):
            if ((1.0 * A[order[j]]) / B[order[j]]) < ((1.0 * A[order[j+1]]) / B[order[j+1]]):
                temp = order[j]
                order[j] = order[j+1]
                order[j+1] = temp
    return order
```

Análisis de correctitud del algoritmo: El algoritmo que se observa, es justamente de idea greedy, donde se ordena las razones del $\frac{v_i}{w_i}$ de manera descendente y luego en base a las menores proporciones, se comenzará a tomar lo mejor de cada uno de estos elementos con mejor razón. Y al final, nos añadirá la fracción restante para que acompleté el valor del límite de peso del knapsack. Entonces, lo que podemos observar es justamente la idea greedy que localmente toma lo mejor para que al final contribuya a obtener el mejor global.

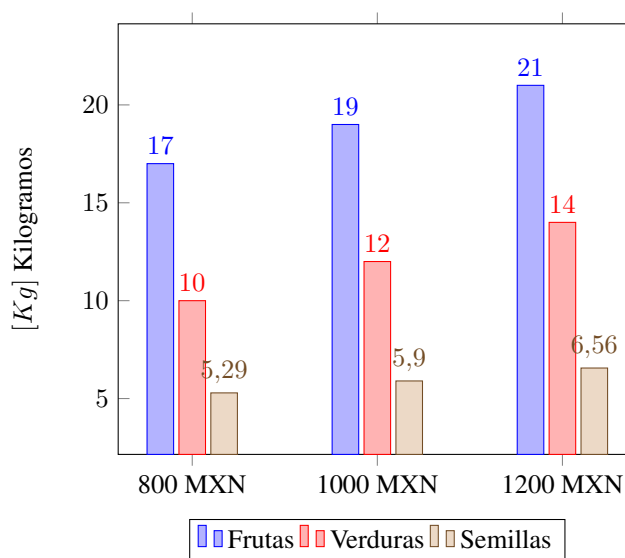
Análisis de Tiempo y Espacio: Tenemos que en complejidad para hacer el knapsack fraccional con idea greedy, el algoritmo usa el ordenamiento para mantener los índices de los elementos y saber cuáles se tomaron, y justamente el ordenamiento que realizamos es el de Bubble-Sort que toma tiempo $O(n \cdot \log(n))$, mientras que el algoritmo de *knapsackfrac* toma tiempo lineal, al ir aumentando tanto W y n comenzando desde 0. Por lo que en total, la complejidad del algoritmo es de $O(n + n \cdot \log(n)) = O(n \cdot \log(n))$. Mientras que la complejidad en el espacio es solamente $O(n)$ dado que solamente guardamos en arreglos de tamaño n tanto a los índices, como al knapsack.

8. Aplicación a datos concretos

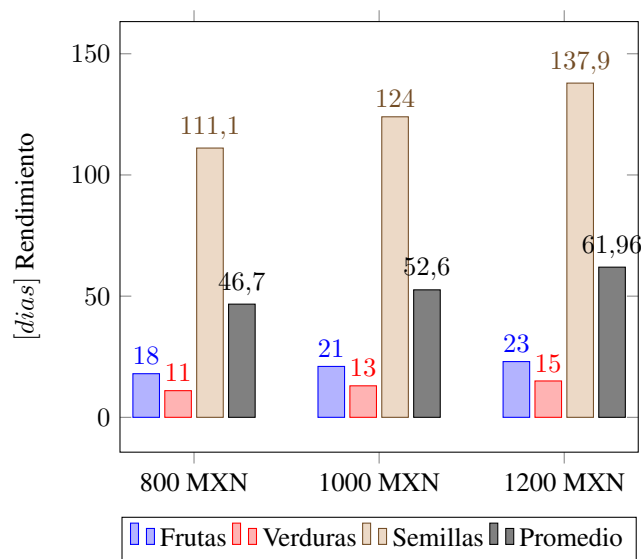
Se aplicó el algoritmo a los datos de la base de datos proporcionada por el Dr. Erick Estrada, y los resultados que se obtuvieron fueron de gran relevancia para el objetivo de este proyecto. Sorprendentemente, se llegaron a grandes conclusiones que sin lugar a dudas, marcarán un cambio de paradigma en la sociedad.

Los resultados que arrojó el algoritmo fueron los siguientes, como se puede observar en la gráfica. Para un presupuesto de \$1,000,00 MXN se llegó a la conclusión de que puede rendir bastante para 2 semanas para una persona en general. Por lo que con \$2,000,00 MXN, se podría llegar a rendir para 1 mes completo para una persona, cubriendo todas las necesidades nutricionales del cuerpo que son Vitaminas, Minerales, Proteínas, Grasas, Azúcares. Se puede observar en la siguiente gráfica que se puede comprar demasiados kilos de fruta de alrededor de 19 tipos diferentes de fruta, 12 tipos distintos de verdura y 6 distintas tipos de semillas oleaginosas.

Con este presupuesto para una semana para una persona se cumple todos los requerimientos para que la nutrición sea la correcta, para que rinda inclusive más o igual a dos semanas, y por último, tiene más variedad de frutas que las grandes instituciones de nutrición europeas de Inglaterra, Alemania y Sudamerica mencionan, que se deben de consumir mínimo 10 distintos tipos de frutas y verduras, y notamos que para el de \$800 MXN inclusive se tiene que se puede comprar cerca de 17 frutas distintas mientras que con el de verduras cumple la norma. Eso sin tomar en cuenta las semillas oleaginosas, mínimo son tres y con el presupuesto fijo de \$800 pesos se puede comprar hasta 6 distintos tipos de semillas.



A continuación se presenta el rendimiento de los alimentos comprados de acuerdo a estos presupuestos. De manera que podemos notar la diferencia entre un presupuesto y otro, aunado el rendimiento en días que podemos estar con esta dieta vegetariana cruda con los requerimientos necesarios y suficientes para vivir. Sin excedentes.



Por lo que podemos notar, que nos ofrece el algoritmo una solución que uno generalmente no podría pensar al observar todas las posibilidades y grandes consideraciones especiales como la nutrición. Sabiendo que es la solución más óptima, entonces podemos considerar que si contamos con un presupuesto semanal de \$800 MXN, entonces podremos inclusive rendir más los alimentos ,de acuerdo a los parámetros mencionados en el planteamiento, hasta inclusive 10 días.

8.1. Resultados del algoritmo

Para un presupuesto de \$1,000 MXN semanales tenemos la siguiente lista de frutas, verduras y semillas oleaginosas:

```

TEJOCOTE
SANDÍA
PLÁTANO TABASCO
PLÁTANO MORADO
PLÁTANO DOMINICO
PIÑA
PERÓN
PAPAYA
NARANJA AGRIA
NARANJA
MANZANA
MANDARINA
LIMÓN REAL
LIMÓN AGRIO
LIMA
GUAYABA
CAPULÍN
AGUACATE CRIOLLO
AGUACATE
Con $ 400.0 se compraran 19.0 KG de Fruta
Alcanzaran cerca de: 21.0 dias
En total se gasto: 396

```

Figura 1: Listado de Frutas

```

ZANAHORIA
VERDOLAGA
TOMATE VERDE
QUELITES
PEPINO
JITOMATE
HUAZONTLE
CEBOLLA CAMBRAY
CEBOLLA
CALABACITA
BERROS
ACELGA
Con $ 200.0 se compraran 12.0 KG de Verdura
Alcanzaran cerca de: 13.0 dias
En total se gasto: 200

```

Figura 2: Listado de Verduras

```

GIRASOL - 1.0 KG
CHÍA - 1.0 KG
LINAZA - 1.0 KG
AJONJOLÍ - 1.0 KG
CACAHUATE - 1.0 KG
CALABAZA DE CASTILLA - 0.9076923076923077 KG
Con $ 400.0 se compraran 5.907692307692308 KG de Semillas Oleaginosas
Alcanzaran cerca de: 124.06153846153848 dias
En total se gasto: 400.0

```

Figura 3: Listado de Semillas Oleaginosas

9. Conclusiones y posible trabajo a futuro

Se llegó a la conclusión de que se cumplió con el objetivo de resolver de forma óptima, tomando en cuenta los recursos computacionales proporcionados, el problema. Proporcionando grandes resultados a los distintos presupuestos que se dieron como entrada en el algoritmo. Se pudo tomar en cuenta el aspecto de que el algoritmo usado para resolver este problema era demasiado complejo, para dar una buena alternativa que brinda buenos resultados.

A manera de conclusión, se puede llegar a notar que se puede optimizar la compra de alimentos de una dieta vegetariana cruda, la cual consiste en frutas, verduras y semillas oleaginosas como nuestros antepasados lo hacían, antes de la invención de la agricultura y del uso de fuego en la cocina [1], resulta ser muy fácil de consumir, se ahorra gas, luz y electricidad que bien podría ocuparse en la compra de más alimentos o simplemente para que nuestro bolsillo lo agradezca.

Además de que puede incluso ser más barato que la dieta omnívora y definitivamente con una mejor calidad nutricional. Con ayuda del modelado matemático y con algoritmos implementados en código, se puede llegar a concluir que la dieta vegetariana cruda en México, es de las más baratas y se tiene gran abundancia para elegir gran variedad de frutas, verduras y semillas oleaginosas dado que México es un país Megadiverso. La gente en un país como México, no debería de estar enferma, dado la gran variedad de alimentos de frutas, verduras que están al alcance de cualquier persona.

9.1. Posible Trabajo a futuro

Algo que me interesa sin duda alguna es ayudar a la gente, y creo que por medio de la alimentación podría ser una vía. Vivimos en una época bastante difícil económicamente, socialmente y emocionalmente. Creo que un posible trabajo a futuro será el desarrollar una app para la Ciudad de México, donde muestre meticulosamente por sexo, edad y peso aunado al presupuesto que se tiene para mostrar la tabla de alimentos en la dieta vegetariana

cruda a comprar. Además de esto, dado que existe gran abundancia de fruta y verduras, así como semillas, poder recomendar y dar mayor peso a aquellas frutas que a uno le gusta.

Además, agregar un nivel más de dificultad en el problema de knapsack de manera que ahora se pueda repetir el kilogramo de determinado alimento. Me imagino que ha de ser retador el simple hecho de que ahora se pueda elegir cuántas veces sea necesario pero que no se pase del límite. Además, si cambiamos algo las suposiciones, podemos inclusive hacer un algoritmo knapsack que tenga múltiples constraints, es decir, que para elegir determinada fruta o verdura, lo que se debe también de tomar en cuenta son las calorías que aporta, vitaminas, minerales, proteínas, grasas, con su respectivo valor nutricional.

Algo que noté en el desarrollo del proyecto es que inclusive hay múltiples frutas, verduras y semillas que son mejores para cierta enfermedad. Algo que sin duda alguna podría beneficiar a mucha gente. Entonces, podemos crear el app con las características anteriores y que además incluya la opción de elegir si se tiene cierta enfermedad, cuánto tiempo y cuestiones así para darle valor a aquellos alimentos que beneficiarían a recuperarse de cierta enfermedad.

No solamente incluir los alimentos de la dieta vegetariana cruda, sino hasta incluir a la miel y a distintas plantas medicinales que en el extranjero son muy peleadas y en México se ofrece con gran facilidad, gracias a la bondad de la Tierra. Como la Hierba del Sapo para curar la Migraña o distintas plantas medicinales, que también podríamos aprovechar los algoritmos y el modelo matemático para que se pueda optimizar los pesos con respecto a lo que se compra.

Por último, hasta podría existir la posibilidad de generar esta app que menciono, aunado a que te de de la ubicación, que de acuerdo a donde vives, la mejor zona de compra de tus alimentos. A su vez, hasta ciertas recetas pero yo creo que eso sería un plus.

Además de la app, veo la posibilidad de realizar un proyecto de investigación con el Dr. Erick Estrada sobre este tipo de temas de suma importancia.

Referencias

- [1] Estrada, E. (2019) El Modelo Hervívoro: El nuevo modelo alimenticio de Homo Sapiens, Segunda Edición, Fórmulas Herbolarias Ediciones.
- [2] Visitado el día 4 de Febrero de 2020, Esperanza de Vida, INEGI (Página Oficial) Cuéntame INEGI URL (<http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/esperanza.aspx?tema=P;>)
- [3] Klenk, J., Keil, U., Jaensch, A., Christiansen, M. C. Nagel, G. Changes in life expectancy 1950-2010: contributions from age- and disease-specific mortality in selected countries. Population health metrics 14, 20–20, <https://doi.org/10.1186/s12963-016-0089-x>(2016).
- [4] J.Kleinberg and E.Tardos, Algorithm Design Addison Wesley 2006.
- [5] T.H. Cormen, C.E. Leiserson, R.L. Rivest, and C. Stein. Introduction to Algorithms, 2nd edition. MIT Press 2001.
- [6] Lectures of Combinatorial Algorithms, Professor Ralph Otten Combinatorial Algorithms, Lecture 13: The knapsack problem. Eindhoven University of Technology