



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ESPECIALIDAD ELÉCTRICA

PARAMETRIZACIÓN DEL SER HUMANO COMO SISTEMA ENERGÉTICO E IMPACTO EN LA SOSTENIBILIDAD

Autor: Santiago Rilo Sánchez

Director: Juan de Norverto Moriño

Madrid

Julio 2018

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Parametrización del Ser Humano Como Sistema Energético e Impacto en la Sostenibilidad
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2017/18 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.
El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Santiago Rilo Sánchez Fecha://

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Juan de Norverto Moriñigo Fecha://

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. _____

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: _____, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a de de

ACEPTA

Fdo.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

ESPECIALIDAD ELÉCTRICA

**PARAMETRIZACIÓN DEL SER HUMANO
COMO SISTEMA ENERGÉTICO E
IMPACTO EN LA SOSTENIBILIDAD**

Autor: Santiago Rilo Sánchez

Director: Juan de Noerto Moriño

Madrid

Junio 2018

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecerle a Juan de Norverto Moríñigo el haber permitido que me embarcara en este proyecto con el que tanto he aprendido. Ha sido un honor y una suerte poder contar con su apoyo, tanto académico como personal.

A su vez, quiero extender mi agradecimiento a todas las personas que hacen posible el ICAI. Esta institución me ha permitido formarme y cultivar mi mente en todo momento durante estos cuatro años. Entre las múltiples oportunidades de las cuales he podido disfrutar, me gustaría destacar especialmente el intercambio académico con Boston University, que me ha enriquecido más allá de cualquier expectativa. Este trabajo es también fruto de esta experiencia.

Finalmente, quiero agradecerle a mi familia su apoyo constante que siempre me ha acompañado en los momentos de mayor necesidad.

PARAMETRIZACIÓN DEL SER HUMANO COMO SISTEMA ENERGÉTICO E IMPACTO EN LA SOSTENIBILIDAD

Autor: Rilo Sánchez, Santiago.

Director: de Norverto Moriñigo, Juan

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto se ha asumido un escenario futuro en el cual todos los países alcanzan un nivel de consumo energético similar al de Estados Unidos con una población estabilizada en torno al año 2100. Una vez realizada esta proyección, se planteó si una optimización en el tamaño del ser humano podría ser solución al problema medioambiental en este hipotético caso futuro. Se concluyó que dicha reducción tiene un impacto relevante, del 3 al 30% dependiendo del caso, si bien conlleva numerosos cambios en la forma de vida actual que se deben valorar.

Palabras clave: sostenibilidad, ahorro energético, optimización de tamaño.

1. Introducción

El ser humano está poniendo en grave al ecosistema y su sostenibilidad a largo plazo, debido a su afán de satisfacer sus necesidades, tanto energéticas como de recursos, y la contaminación que ello produce.

Gracias a los actuales conocimientos científicos se puede plantear una solución basada en la optimización dimensional de la especie. En este trabajo se estudiará si merece la pena este curso de acción.

2. Definición del proyecto

En el proyecto se estudiarán las proyecciones globales futuras para el año 2100 tomando como referencia un consumo similar al estadounidense de recursos materiales y energéticos. Se estudiarán los sectores con un mayor impacto energético y medioambiental: el sector eléctrico, el sector de transporte, el sector residencial, el sector alimenticio y el sector hídrico. A su vez, se analizará el ser humano como sistema energético a partir de sus parámetros dimensionales. A continuación, se utilizará esta disección y se aplicará lo aprendido a tres escenarios alternativos futuros ligados a diferentes tamaños. Por último se presentarán las reflexiones finales del proyecto.

3. Descripción del modelo

La metodología para este trabajo será múltiple para cubrir los diferentes campos de estudio. Se mencionan las de mayor importancia. Para las estimaciones se utilizarán datos y proyecciones de organismos públicos (por ejemplo [1] o [2]). Para los apartados del sector eléctrico se utilizará un programa análisis de imágenes escrito en Java [3]. Se utilizarán datos médicos, como por ejemplo estimaciones metabólicas [4] o percentiles de tablas de crecimiento [5]. Se utilizarán ecuaciones provenientes de artículos científicos para estimar los parámetros de la optimización de tamaño [6] y para estimar

os cambios en el sector transporte [7]. Se utilizarán libros especializados de arquitectura para modelizar el sector residencial [8].



Ilustración 1: Muestra de las Celdas Analizadas con el Programa [3] para estudiar los efectos del Clima y la Densidad de Población en el Consumo

4. Resultados

Tras finalizar el modelo de los sectores analizados, se obtiene una reducción significativa, de entre el 2,5% y el 32%, para los diferentes escenarios planteados:

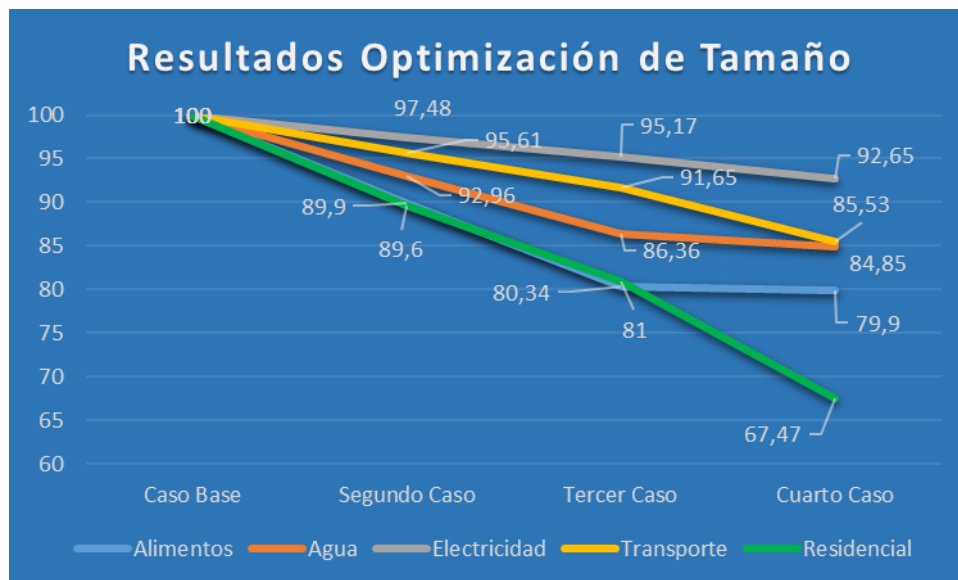


Ilustración 2: Cambios Derivados de la Optimización de Tamaño Respecto al Caso Base

5. Conclusiones

A la luz del trabajo realizado, la solución planteada será de utilidad como forma de ganar tiempo y reducir el daño causado, si bien buena parte del mismo es ya inevitable [9]. Dentro de las tres opciones barajadas, se considera que el mayor beneficio marginal se obtiene con los cambios menores, ya que presenta menores alteraciones en nuestra forma

de vida. Si lo prioritario fuera una reducción urgente, se podría optar por los ajustes de mayor calado.

6. Referencias

- [1] United States Department of Agriculture: Economic Research Service, “Food Availability and Consumption”, Febrero 2018. <https://www.ers.usda.gov/data-products/ag-and-food-statistics-charting-the-essentials/food-availability-and-consumption/>
- [2] United Nations: DESA/POPULATION DIVISION, “World Population Prospects 2017”, Marzo 2018. <https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Probabilistic/Population/>
- [3] ANEXO E: Programa “Color Pixel Counter” desarrollado en colaboración con Todd Leach, estudiante e investigador en Boston University.
- [4] FAO – WHO, “Base Metabolic Rate in Man”, Junio 2018. <http://www.fao.org/docrep/MEETING/004/M2845E/M2845E00.HTM>
- [5] U. S. Census Bureau, “Cumulative Percent Distribution of Population by Height and Sex”, Junio 2018. <https://www2.census.gov/library/publications/2010/compendia/statab/130ed/tables/11s0205.pdf>
- [6] Nature Magazine, “Growth Patterns in African Pygmies of Known Age”, Junio 2018. <https://www.nature.com/articles/ncomms8672>
- [7] Hadi Arbabi, Martin Mayfield, “Urban and Rural – Population and Energy Consumption Dynamics in Local Authorities within England and Wales”. Published: 30th August 2016.
- [8] Julius Panero, Martin Zelnick, (1996). “Las Dimensiones Humanas en los Espacios Interiores: Estándares Antropométricos” Séptima Edición. Junio 2018. <https://www.fceia.unr.edu.ar/darquitectonico/darquitectonico/RepHip/las-dimensiones-humanas.pdf>
- [9] Intergovernmental Panel on Climate Change, “Projections of Future Changes in Climates”, Julio 2018. https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/spmsspmp-projections-of.html

PARAMETERIZATION OF THE HUMAN AS AN ENERGETIC SYSTEM AND IT'S IMPACT ON SUSTAINABILITY

Author: Rilo Sánchez, Santiago.

Supervisor: de Norverto Moriñigo López, Juan.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

ABSTRACT

In this study a future scenario has been assumed in which every country will reach a level of energetic consumption similar to that of the United States, with a population that will stabilize around the year 2100. Once this projection has been made, we will consider whether an optimization of the size of human beings could solve the environmental problem in this hypothetical future case. It was concluded that such a reduction would have a relevant impact of between 10 and 30% depending on each case, although it would entail numerous changes in the current lifestyle that must be considered.

Keywords: sustainability, energy saving measures, size optimization.

1. Introduction

Humans are putting the world's ecosystems and long-term sustainability seriously at risk due to their urge to satisfy their energetic and material needs, and the pollution it causes.

Current scientific knowledge makes it possible to consider a solution based on the dimensional optimization of the human species. This paper analyses whether this course of action is worthwhile.

2. Project Definition

This study will consider the future global projections for the year 2100 taking as a reference a consumption similar to that of the United States in terms of material and energetic resources. Special attention will be paid to those sectors with a wider energetic and environmental impact, i.e., the electricity sector, the transport sector, the residential sector, the food sector and the water sector. Likewise, the human being as an energetic system will be analyzed through its dimensional parameters. This analysis will then be applied to three alternative future scenarios according to different sizes. Finally, the concluding reflections will be presented.

3. Model Description

This study will be based on a multidisciplinary approach so as to cover the different fields of study. Regarding estimations, appropriate use will be made of data and projections of public institutions (for example, [1] or [2]). Regarding the sections on the electricity sector, an image analysis program written in Java will be used. Furthermore, medical data such as metabolic estimations [4] and growth chart percentiles [5] will be considered. Also, equations from scientific articles will be used in order to estimate the parameters of the size optimization [6] as well as the changes in the transportation sector [7]. Finally, books specialized in architecture will be used to model the residential sector [8].



Ilustración 3: Sample of the cells analyzed with the program [3] in order to study the effects of the climate and the population density on consumption.

4. Results

After completing the model of the analyzed sectors, we obtained a significant reduction of between 2.5% and 32% for the different scenarios considered:

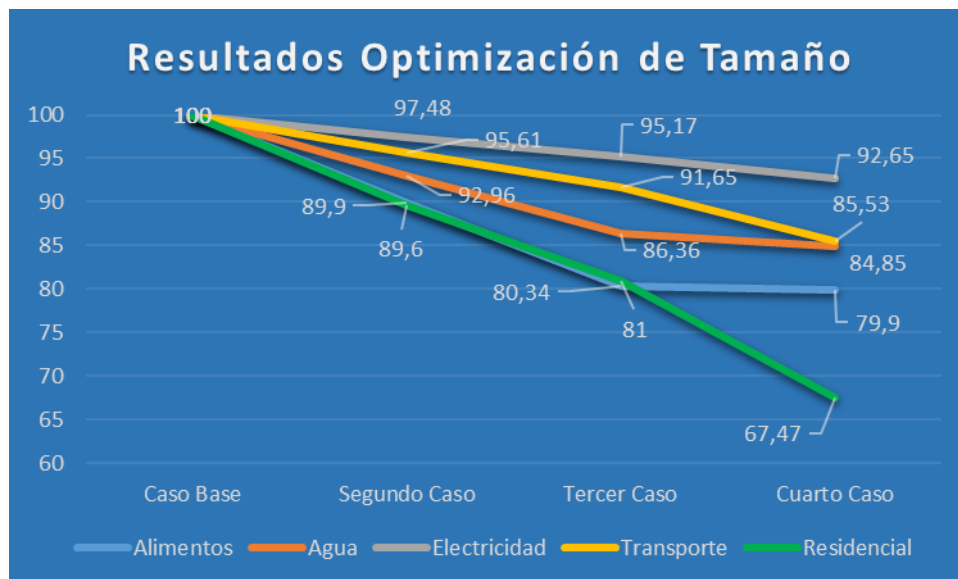


Ilustración 4: Changes derived from size optimization in relation to the base case

5. Conclusions

In the light of the results of this study, the suggested solution would be useful as a way of buying time and reducing the damage done, although some of it is already unavoidable [9]. Among the three suggested options, it is considered that the greatest marginal profit would be achieved through the smallest changes, as this would result in less modifications in our current lifestyle. If an urgent reduction were a priority, larger adjustments should be made.

6. References

- [1] United States Department of Agriculture: Economic Research Service, “Food Availability and Consumption”, February 2018. <https://www.ers.usda.gov/data-products/ag-and-food-statistics-charting-the-essentials/food-availability-and-consumption/>
- [2] United Nations: DESA/POPULATION DIVISION, “World Population Prospects 2017”, March 2018. <https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Probabilistic/Population/>
- [3] ANEX E: “Color Pixel Counter” Program, developed in cooperation with Todd Leach, student and researcher at Boston University.
- [4] FAO – WHO, “Base Metabolic Rate in Man”, June 2018. <http://www.fao.org/docrep/MEETING/004/M2845E/M2845E00.HTM>
- [5] U. S. Census Bureau, “Cumulative Percent Distribution of Population by Height and Sex”, June 2018. <https://www2.census.gov/library/publications/2010/compendia/statab/130ed/tables/11s0205.pdf>
- [6] Nature Magazine, “Growth Patterns in African Pygmies of Known Age”, June 2018. <https://www.nature.com/articles/ncomms8672>
- [7] Hadi Arbabi, Martin Mayfield, “Urban and Rural – Population and Energy Consumption Dynamics in Local Authorities within England and Wales”. Published: 30th August 2016.
- [8] Julius Panero, Martin Zelnick, (1996). “Las Dimensiones Humanas en los Espacios Interiores: Estándares Antropométricos” Seventh Edition. June 2018. <https://www.fceia.unr.edu.ar/darquitectonico/darquitectonico/RepHip/las-dimensiones-humanas.pdf>
- [9] Intergovernmental Panel on Climate Change, “Projections of Future Changes in Climates”, July 2018. https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/spmsspmp-projections-of.html

Índice de la memoria

| | |
|---|------------|
| Capítulo 1. Introducción | 8 |
| 1.1 Motivación del proyecto..... | 8 |
| 1.2 Objetivos del Proyecto | 10 |
| 1.3 Situación Actual en los Estados Unidos..... | 11 |
| Capítulo 2. Creación del Modelo de Proyecciones Futuras..... | 24 |
| 2.1 Consumo de Alimentos | 24 |
| 2.2 Consumo de Agua | 26 |
| 2.3 Sector Transporte | 28 |
| 2.4 Sector Eléctrico | 33 |
| 2.5 Sector Residencial | 42 |
| Capítulo 3. El Ser Humano Como Sistema Energético | 50 |
| Capítulo 4. Parametrización Según Tamaño | 65 |
| 4.1 Consumo de Alimentos | 65 |
| 4.2 Consumo de Agua | 71 |
| 4.3 Sector Residencial | 75 |
| 4.4 Sector Eléctrico | 81 |
| 4.5 Sector Transporte | 87 |
| Capítulo 5. Conclusiones..... | 92 |
| Capítulo 6. Trabajos Futuros..... | 96 |
| Capítulo 7. Bibliografía..... | 98 |
| ANEXO A | 103 |
| ANEXO B | 104 |
| ANEXO C | 105 |
| ANEXO D | 106 |

ANEXO E 107

ANEXO F 118

ANEXO G 119

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1: Comparativa entre Recomendaciones e Ingesta de Alimentos [3] | 12 |
| Figura 2: Disponibilidad Per Cápita de Carne por Tipos em EE. UU. [3] | 13 |
| Figura 3: División de las Pérdidas del Sector Alimenticio en Estados Unidos por Peso [6] | 14 |
| Figura 4: Anexo B | 15 |
| Figura 5: Anexo A | 16 |
| Figura 6: Anexo C | 17 |
| Figura 7: Cantidad de Materias Primas Utilizados en EE. UU. [12]..... | 20 |
| Figura 8: Anexo D | 27 |
| Figura 9: Gasto Energético Por Medios de Transporte en Diferentes Regiones del Mundo [20] | 28 |
| Figura 10: Consumo Per Cápita de Combustible con Relación a la Densidad de Población para Municipios de Inglaterra y Gales [21] | 29 |
| Figura 11: Relación entre Densidad de Población y Consumo Per Cápita de Petróleo para Grandes Ciudades del Mundo [22]..... | 30 |
| Figura 12: Mapamundi Dividido en las 5 Categorías Generales de la Clasificación Climática de Koppen [24] | 35 |
| Figura 13: Mapamundi Dividido en 6 Categorías según Densidad de Población [24] | 35 |
| Figura 14: Celda del Modelo Climático Mundial Correspondiente a Europa Occidental.... | 37 |
| Figura 15: Celda del Modelo de Densidad Población Mundial Correspondiente a Europa Occidental..... | 37 |
| Figura 16: Celda del Modelo Climático EE. UU. Correspondiente a la Región de los Grandes Lagos | 38 |
| Figura 17: Celda del Modelo de Densidad Población EE. UU. Correspondiente a la Región de los Grandes Lagos..... | 38 |
| Figura 18: Tipo de Viviendas en las Principales Ciudades de EE. UU. [30]..... | 46 |

| | |
|--|----|
| Figura 19: Cambio en Tasa Metabólica según Edad [34]..... | 50 |
| Figura 20: Tablas Masculinas y Femeninas del Crecimiento de las Individuos Baka comparado con la Población Francesa [40]..... | 55 |
| Figura 21: Peso según Edad por Percentiles en el Caso Masculino de Individuos con Acondroplasia [42]..... | 57 |
| Figura 22: Altura según Edad por Percentiles en el Caso Masculino de Individuos con Acondroplasia Comparado con la Población General [43]..... | 58 |
| Figura 23: Ilustración del libro ‘Modulor’ donde se muestra la relación de las medidas antropométricas con la serie áurea [47]..... | 60 |
| Figura 24: Ilustraciones del libro “Las Dimensiones Humanas en Los Espacios Interiores” [44]..... | 62 |
| Figura 25: Consumo de Agua de cada Alimento Representado en Minutos de Ducha de 19L cada uno [6]..... | 72 |
| Figura 26: Consumo Energético de la Industria en EE. UU. en el Año 2016 [53]..... | 82 |
| Figura 27: Consumo Energético del Sector Industrial en la OCDE por Fuente Energética..... | 82 |
| Figura 28: Pasajeros-Milla por Modo en el Transporte Público para EE. UU. en 2015 [57]..... | 86 |
| Figura 29: Cambios Derivados de la Optimización de Tamaño Respecto al Caso Base.... | 93 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Cantidad Diaria de Alimentos Recomendada según Tipo para 2.000 kcal [1] | 12 |
| Tabla 2: Cálculos de Dieta Diaria Consumida de Media en EE. UU. [3] | 13 |
| Tabla 3: Cálculos Alimentos Totales Consumidos de Media en EE. UU. Teniendo Pérdidas en Cuenta | 15 |
| Tabla 4: Materiales Utilizados en el Sector Residencial de EE. UU. [13] | 21 |
| Tabla 5: Proyecciones Consumo Futuro y Cambio Porcentual | 26 |
| Tabla 6: División Porcentual de los Principales Sectores de Consumo Energético en Sector Transporte [20] | 31 |
| Tabla 7: Valores del Sistema RGB empleados en el Anexo E correspondientes a las Categorías Climáticas | 37 |
| Tabla 8: Valores del Sistema RGB empleados en el Anexo E correspondientes a las Categorías de Densidad de Población | 39 |
| Tabla 9: Cálculo de los Parámetros Climáticos para el Caso de Calentamiento de Espacios | 40 |
| Tabla 10: Cálculo de los Parámetros Climáticos para el Caso de Enfriamiento de Espacios | 40 |
| Tabla 11: Anexo F | 52 |
| Tabla 12: Distribución Estimada de la Población por Edad para el año 2100 [38] | 53 |
| Tabla 13: Valores Medios de Altura para la Población Americana Actual por Edad [39] . | 53 |
| Tabla 14: Valores Medios de Peso para la Población Americana Actual por Edad [39] | 54 |
| Tabla 15: Valores Medios de Altura para la Población Indonesia Actual por Edad [39] ... | 54 |
| Tabla 16: Valores Medios de Peso para la Población Indonesia Actual por Edad [39] | 55 |
| Tabla 17: Valores Medios de Altura para la Población de la Tribu Baka por Edad [40] | 57 |
| Tabla 18. Valores Medios de Peso para la Población de la Tribu Baka por Edad [40] | 57 |
| Tabla 19: Valores Medios de Altura para la Población con Acondroplasia por Edad [42] | 60 |
| Tabla 20: Valores Medios de Peso para la Población con Acondroplasia por Edad [43] ... | 60 |

| | |
|--|----|
| Tabla 21: Cálculos del Consumo Metabólico Base para Población Estadounidense Actual por Edades [46]..... | 65 |
| Tabla 22: Cálculos del Consumo Metabólico Base para Población Indonesia Actual por Edades [46]..... | 66 |
| Tabla 23: Cálculos del Consumo Metabólico Base para Población de la Tribu Baka por Edades [46]..... | 66 |
| Tabla 24: Cálculos del Consumo Metabólico Base para Población con Acondroplasia por Edades [46]..... | 66 |
| Tabla 25: Tabla Comparativa para Cada Caso con Respecto al Escenario Base por Edades y Sexos..... | 67 |
| Tabla 26: Variación Futura en el Consumo de Alimentos para el Caso Segundo..... | 69 |
| Tabla 27: Variación Futura en el Consumo de Alimentos para el Caso Tercero | 70 |
| Tabla 28: Variación Futura en el Consumo de Alimentos para el Caso Cuarto..... | 70 |
| Tabla 29: Cambio en el Consumo de Agua según Escenario de Reducción de Tamaño | 74 |
| Tabla 30: Relación De Dimensiones entre el Segundo Caso y el Caso Base..... | 76 |
| Tabla 31: Relación De Dimensiones entre el Tercer Caso y el Caso Base | 77 |
| Tabla 32: Relación De Dimensiones entre el Cuarto Caso y el Caso Base..... | 78 |
| Tabla 33: Comparativa Reducción de Área y Volumen Sector Residencial según Caso.... | 79 |
| Tabla 34: Pasajeros-Milla y Porción de los Pasajeros-Milla Totales [35] | 88 |
| Tabla 35: Cálculos Coeficientes Reducción Área Frontal Vehículos Ligeros para cada Caso | 89 |
| Tabla 36: Consumo Metabólico de Órganos y Tejidos en el Ser Humano [36]..... | 97 |

Acrónimos y Abreviaturas

EIA: Energy Information Administration.

EPA: Environmental Protection Agency.

FAO: Food and Agriculture Organization.

LLNL: Lawrence Livermore National Laboratory.

OCDE: Organization for Economic Co-operation and Development.

ONU: Organización de las Naciones Unidas.

SEDAC: Socioeconomic Data and Applications Center.

USGBC: United States Green Building Council.

WHO: World Health Organization.

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La principal razón de ser de este proyecto es explorar una posible solución a la crisis medioambiental y de escasez de recursos a la que se enfrenta la Humanidad y la cual pone en riesgo nuestra supervivencia como especie a medio-largo plazo. Al analizar paramétricamente al ser humano según sus características físicas se busca encontrar un tamaño y peso sostenibles. La disminución de consumo energético y de recursos derivado de la adopción de un tamaño más ecológico podría hacernos ganar tiempo para desarrollar otras soluciones que logren alcanzar la sostenibilidad total, como la producción de electricidad por medios renovables. Si el impacto es de la magnitud adecuada, no nos veríamos obligados a tomar decisiones dolorosas respecto a cómo reorganizar nuestras sociedades, nuestro modo de vida o nuestro nivel de desarrollo tecnológico. La moneda de cambio a pagar sería una disminución en el crecimiento económico durante la implantación, si bien otras medidas ecologistas con potencial de efectos de calado conllevan la misma problemática.

La circunstancia que permite contemplar esta posible salida al problema medioambiental es la discrepancia entre nuestra genética y el entorno en el que vivimos. Durante millones de años de evolución, cuando un animal disponía de recursos en abundancia solía emplear esta energía en aumentar su altura, su fuerza o su tamaño. Individualmente, dichos atributos le conferían una ventaja evolutiva en su medio. Sin embargo, el caso humano es diferente, gracias a nuestro desarrollo cognitivo y a la invención del método científico. Las máquinas modernas nos permiten llegar a cualquier altura, levantar cualquier peso y garantizan nuestra supervivencia sin necesidad de variar nuestro físico. De hecho, los antaño positivos atributos ahora suponen un riesgo para nuestro futuro colectivo al afectar nuestro consumo de recursos y tener un impacto en todas las áreas de la economía, desde los sistemas de transporte al mercado residencial. De 1914 a 2014 la población masculina española creció 14,3 cm de

altura de media. Esta misma transformación está teniendo lugar similarmente en los países menos favorecidos.

La herramienta que hace posible pensar en una solución de esta naturaleza es la ingeniería genética. En los últimos años científicos e investigadores han encontrado más de 400 genes relacionados con el tamaño y la altura en el genoma humano. Dentro de los laboratorios se han desarrollado métodos que, usando la proteína CRISP-Cas9, permiten cortar y reemplazar bases concretas en una cadena de ADN. Otras variantes de la misma pueden aumentar el número de copias de un gen o silenciar una cadena determinada del genoma. Existen vías alternativas para conseguir este propósito, como por ejemplo el control hormonal. Con la combinación de estas técnicas y conocimientos se abre la posibilidad de influir en la naturaleza humana hasta alcanzar un tamaño más sostenible.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

En este proyecto se buscará una nueva solución para el problema de sostenibilidad que afecta al ser humano mediante la consecución de unos objetivos concretos:

1. Se realizará una proyección de la utilización de recursos futura a nivel mundial si toda la población de la Tierra alcanzara un nivel de vida comparable a EE. UU. y las mismas pautas de consumo.
2. Se realizará una parametrización del ser humano como sistema energético identificando y calculando las dimensiones físicas que tengan un mayor impacto en la sostenibilidad.
3. Se estimará el efecto de la optimización del tamaño del ser humano en cada uno de los cinco sectores energéticos y de recursos a estudiar.
4. Se estimará el potencial de la optimización de tamaño como solución a los problemas de sostenibilidad a largo plazo en los sectores a estudiar.
5. Se estimará el potencial de la optimización de tamaño como solución global al problema de sostenibilidad a largo plazo causado por la acción humana en la Tierra.

1.3 SITUACIÓN ACTUAL EN LOS ESTADOS UNIDOS

Lo primero que se hará en este proyecto es plantear un escenario futuro hipotético con el objetivo de tener un marco con el cuál comparar los posibles beneficios de la optimización de tamaño como solución. En dicho marco-modelo se usarán un aserie de suposiciones. Se planteará un escenario en el cuál la población mundial se habrá estabilizado, siguiendo las estimaciones oficiales de la Organización de las Naciones Unidas, concretamente las de población mundial para el año 2100. Se considerará que todas las sociedades del planeta han alcanzado el desarrollo económico y tecnológico y disfrutan de condiciones de vida propias de los países desarrollados de la actualidad. Se tomarán los Estados Unidos de América como referencia, dada su condición de primera potencia económica mundial y la gran cantidad de datos oficiales públicos fiables.

Debido a que es imposible plasmar todas las áreas de consumo de recursos y energía, el trabajo se centrará en cinco principales campos: el consumo de alimentos, el consumo de agua, el sector transporte, el sector eléctrico y el sector residencial. El consumo de alimentos y de agua fueron escogidos por que cubren una necesidad esencial del ser humano como es la nutrición. Los sectores del transporte, eléctrico y residencial fueron escogidos por ser las mayores áreas de consumo energético de EE. UU. (y por extensión del resto de economías desarrolladas). [Anexo A]

A continuación, se expondrán los cálculos referidos al consumo actual estadounidense de cada uno de los sectores que serán objeto de estudio en este trabajo:

Consumo de alimentos

En este apartado se ha tomado como referencia las recomendaciones dietéticas del gobierno de los EE. UU. para una dieta de 2000 calorías [1]. Estos datos se exponen a continuación convertidos a gramos:

| Grupo Alimenticio | Cantidad Diaria Recomendada (g) |
|-------------------|---------------------------------|
| Verduras | 560 |
| Frutas | 350 |
| Cereales | 131,25 |
| Productos Lácteos | 525 |
| Proteínas | 120,3 |
| Aceites | 27 |

Tabla 1: Cantidad Diaria de Alimentos Recomendada según Tipo para 2.000 kcal [1]

Se deberá tener además otros factores en mente antes de generalizarlo al resto de la población. Un dato relevante es que el consumo medio americano no es de 2000 kilocalorías diarias, sino de 3750 [2]. Además, el consumo real de cada ciudadano difiere en gran medida del consumo recomendado. Según un estudio del US Department of Agriculture las discrepancias entre el consumo recomendado y el real alcanzan diferencias de hasta un 60% [3], como se observa en la figura 1 expuesta a continuación procedente de mismo estudio:

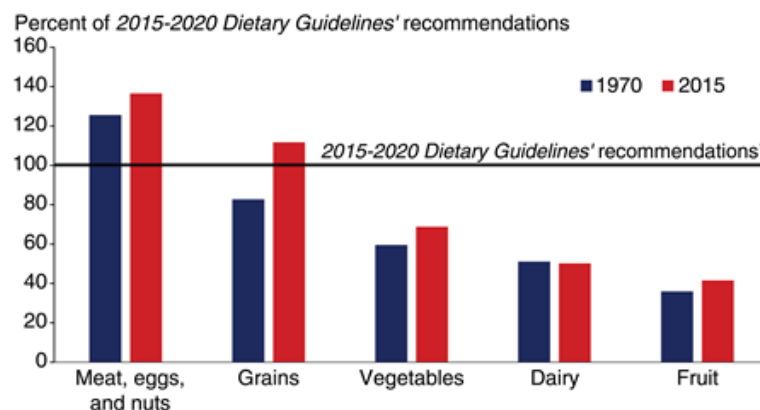


Figura 1: Comparativa entre Recomendaciones e Ingesta de Alimentos [3]

Teniendo en cuenta estos dos matices se calculará el consumo real de alimentos per cápita:

| Grupo Alimenticio | Cantidad Diaria Recomendada (g) | Factor consumo real calorías | Factor porcentaje real consumo | Cantidad Diaria Consumida (g) |
|-------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Verduras | 560 | 3750/2000 | 1/0.6895 | 723,75 |
| Frutas | 350 | 3750/2000 | 1/0.421 | 276,318 |
| Cereales | 131,25 | 3750/2000 | 1/1,11 | 273,281 |
| Productos Lácteos | 525 | 3750/2000 | 1/0.5053 | 497,36 |
| Proteínas | 120,3 | - | - | 1.061,56 |

Tabla 2: Cálculos de Dieta Diaria Consumida de Media en EE. UU. [3]

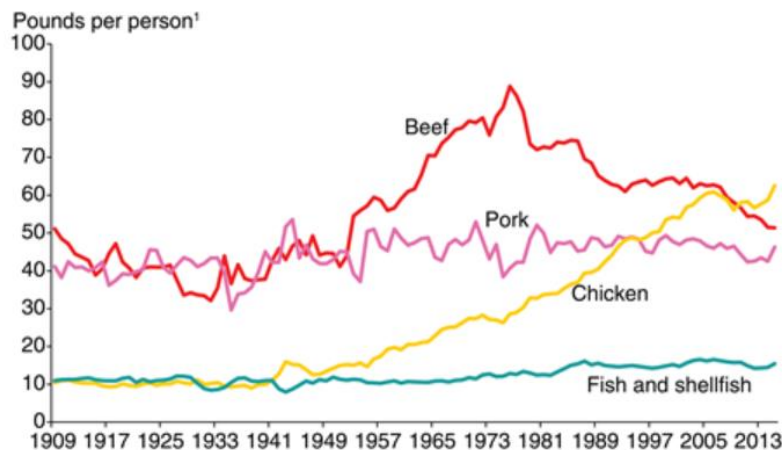


Figura 2: Disponibilidad Per Cápita de Carne por Tipos em EE. UU. [3]

El dato para proteínas se ha obtenido de otro estudio incluido en el mismo portal web al ser más preciso e incluye las cifras de los tipos de proteína consumida anualmente per cápita los cuales son 34,16 kg de pescado y marisco, 102,08 kg de carne porcina, 113,29 kg de carne de ternera y 137,94 kg de carne de pollo. En total 387,47 kg de proteína animal (excluyendo huevos) que se traducen en 1,061.56 kg diarios que se consumen en la economía estadounidense per cápita. [3].

El impacto del sector alimenticio es significativo dado que consume el 69,39% del agua que se extrae anualmente en el estado de California (referencia para nuestro escenario de

consumo de agua) [4] y sus emisiones anuales de CO₂ en EE. UU. se estiman en 351,474 x10¹² toneladas [5].

Sin embargo, el consumo por persona no muestra la realidad completa del sector alimenticio. Muchos alimentos son rechazados en la cadena de abastecimiento por motivos no siempre relacionados con la salud del consumidor.

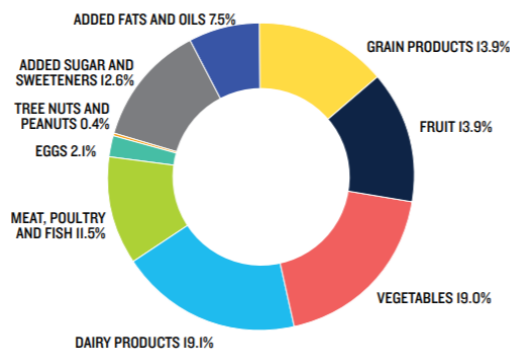


Figura 3: División de las Pérdidas del Sector Alimenticio en Estados Unidos por Peso [6]

El Consejo para la Defensa de los Recursos Naturales elaboró un informe al respecto en 2017. En la Figura 3 se observa el desperdicio relativo por tipo de alimento. En el mismo estudio se indica que en el sector cárnico un 3,5% se desperdicia en producción, un 10% en procesado, un 3% en la distribución, un 4% en la venta al por menor y un 21% en los usos del consumidor final. En este sector el desperdicio alcanza el 40% de su producción inicial. La pérdida de carne per cápita es de 440,54 gramos [6]. Atendiendo a estas relaciones, podemos ajustar la verdadera cantidad de alimentos que corresponden a cada persona:

| Grupo Alimenticio | Cantidad Diaria Consumida (g) | Coefficientes Ajuste | Cantidad Diaria Consumida Total (g) |
|-------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| Verduras | 723,75 | $(1+0,415 \times 19/11,5)$ | 1.220 |
| Frutas | 276,318 | $(1+0,415 \times 13,9/11,5)$ | 414,92 |
| Cereales | 273,281 | $(1+0,415 \times 13,9/11,5)$ | 410,36 |
| Productos Lácteos | 497,36 | $(1+0,415 \times 19,1/11,5)$ | 840,1 |
| Proteínas | 1.061,56 [25] | 1.415 | 1.502,1 |

Tabla 3: Cálculos Alimentos Totales Consumidos de Media en EE. UU. Teniendo Pérdidas en Cuenta

Consumo de agua

En este apartado se utilizarán datos propios del Estado de California y se generalizará a toda la población estadounidense. La información se tomará del Lawrence Livermore National Laboratory, una entidad dependiente del Departamento de Energía de EE. UU. que elabora detallados diagramas de Sankey sobre temas de energía, emisiones y consumo de recursos.

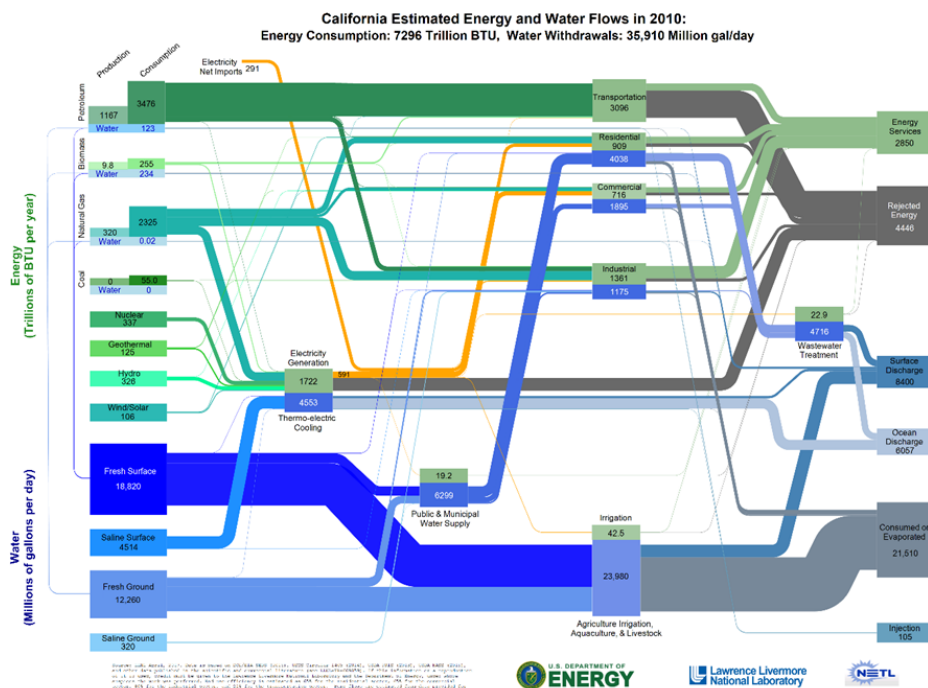


Figura 4: Anexo B

De dicho diagrama se obtiene el dato de extracción de agua del estado de California en el año 2010, el más reciente disponible:

$$35.910 \frac{\text{millones galones}}{\text{dia}} = 1,359 \times 10^{11} \frac{\text{litros}}{\text{dia}} = 4,96 \times 10^{13} \frac{\text{litros}}{\text{año}}$$

Dado que la población de California en el año 2010 era aproximadamente de 37.253.956 personas [7], el consumo per cápita queda en 1.331.402 litros anuales.

Para contrastar dicho número se usará la estimación de consumo anual de EE. UU. por la FAO, 1.468.750,672 litros per cápita [7] y la población de Estados Unidos a julio de 2017, 325.719.000 habitantes [8].

El resultado de este nuevo cálculo arroja 1.468.750,672 litros por persona, aproximadamente un 10% superior al número anterior por lo cual será considerado como fiable.

Sector Transporte

Se utilizará el diagrama de Sanky de flujos energéticos mostrado a continuación:

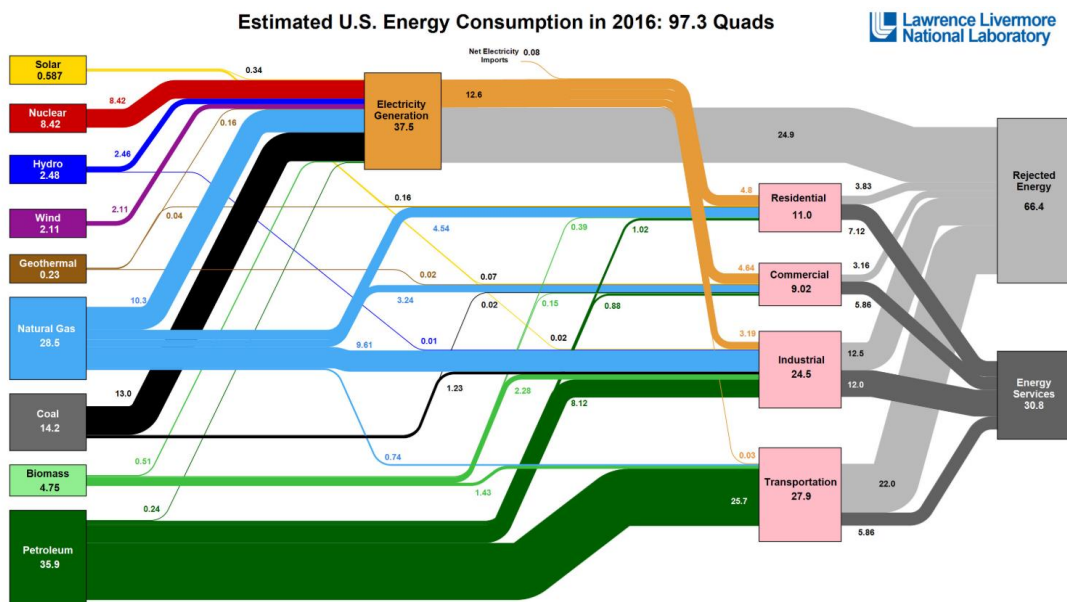


Figura 5: Anexo A

Se puede observar como el consumo energético de EE. UU. en el sector transporte en 2016: fue de 27,9 Quads, lo cual equivale a 29,434 EJ [Anexo A].

Utilizando el mismo dato de población que en el apartado anterior [9], el consumo energético per cápita relativo al sector transporte queda:

$$\frac{29,434 \times 10^{18} \text{ J}}{325.719.000} = 90,366 \times 10^9 \text{ J} = 90,366 \text{ GJ}$$

A su vez, en el diagrama de Sankey relativo a emisiones de compuestos de carbono podemos encontrar el impacto actual de dicho sector en EE. UU.:

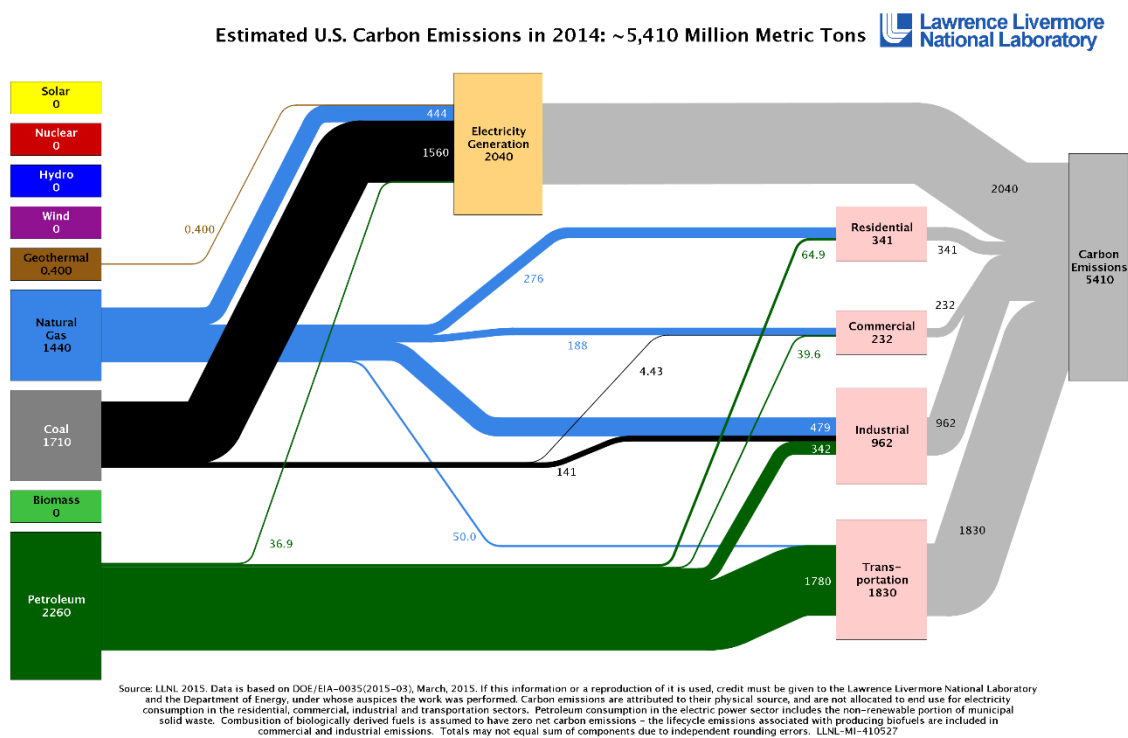


Figura 6: Anexo C

Las emisiones totales del sector transporte estadounidense vienen estimadas en 1.830 millones de toneladas métricas para el año 2014. [10]

Replicando el cálculo anterior obtenemos la cifra de emisiones per cápita anuales:

$$\frac{1.830 \times 10^6 T}{325.719.000} = 5,618 T \text{ emisiones de carbono por persona}$$

Sector Eléctrico

En la Figura 4 podemos apreciar como EE. UU. Destinó un total de 37,5 Quads en 2016, equivalentes a 39,563 EJ a la generación eléctrica. [Anexo A]

En términos per cápita esto implica:

$$\frac{39.563 \times 10^{18} J}{325.719.000} = 0,1214 \times 10^{12} J = 0,1214 TJ = 33.739 \text{ kwh por persona}$$

Con respecto a las emisiones del sector, estas están reflejadas en la Figura 5, siendo de 2.040 millones de toneladas métricas en el año 2014.

A nivel individual a cada estadounidense corresponde:

$$\frac{2.040 \times 10^6 T}{325.719.000} = 6,263 \text{ Toneladas emisiones de carbon}$$

Nótese que estos números de energía y emisiones del sector eléctrico engloban cualquier uso que se hizo de esta electricidad.

Sector Residencial

Según la Energy Information Administration americana, el consumo medio de un hogar en EE. UU. fue de 89.6 millones de BTU en 2009, equivalente a 94,528,000 kJ. [11]. En la misma fuente se indica que en dicho año el país contaba con 113,6 millones de hogares.

Por lo tanto, el consumo energético total del sector residencial se estima en $1,074 \times 10^{19}$ julios = 10,74 EJ.

A modo de comparación, el diagrama de Sankey [Anexo A] se estima dicha cifra en 11 Quads, es decir, 11,6 EJ.

Podemos observar como la diferencia es de un 7,5% superior y se trata de años distintos, por lo que los datos quedan validados como fiables.

Si se lleva en términos por habitante:

$$\frac{11,6 \times 10^{18} \text{ J}}{325.719.000} = 3,561 \times 10^{10} \text{ J} = 35,61 \text{ GJ por persona}$$

Más adelante necesitaremos el porcentaje que representan el consumo eléctrico, de gas natural y de derivados del petróleo sobre el consumo energético total. En el diagrama de flujo de energías [Anexo A] se observa como la partida correspondiente al suministro eléctrico es de 4,8 Quads, la correspondiente al gas natural de 4,54 Quads y la correspondiente a derivados del petróleo de 1,02 Quads. Al ser, según esta fuente, el consumo total de 11 Quads el sector eléctrico, gas natural y derivados del petróleo representan un 43,64%, 41,27% y 9,27% per cápita respectivamente. Por su parte, la biomasa es responsable de 0,39 Quads de consumo y de un 3,54%. La biomasa será relevante para la estimación de emisiones.

Según el diagrama de Sankey de emisiones [Anexo C] el total de emisiones de carbono en 2014 supuso un total de 341 millones de toneladas para EE. UU. Sin embargo, esta cifra no tiene en cuenta las emisiones que se produjeron para generar y transportar la energía eléctrica que consumió el sector residencial. Repartiendo proporcionalmente dichas emisiones según los datos en la Figura 4 obtenemos:

$$341 + \frac{4,8 \text{ Quads consumidos residenciales}}{12,6 \text{ Quads totales producidos}} \times 2.040 = 1.118,143 \text{ millones } T \text{ CO}_2$$

Proporcionalmente a cada habitante le corresponden:

$$\frac{1.118,143 \text{ millones } T \text{ CO}_2}{325.719.000 \text{ habitantes}} = 3.433 \text{ T CO}_2 \text{ per cápita}$$

Sin embargo, el impacto del sector residencial se extiende más allá de su consumo energético durante la vida útil de las viviendas. Construir las casas en primer lugar supone la utilización de muchos minerales y materiales distintos.

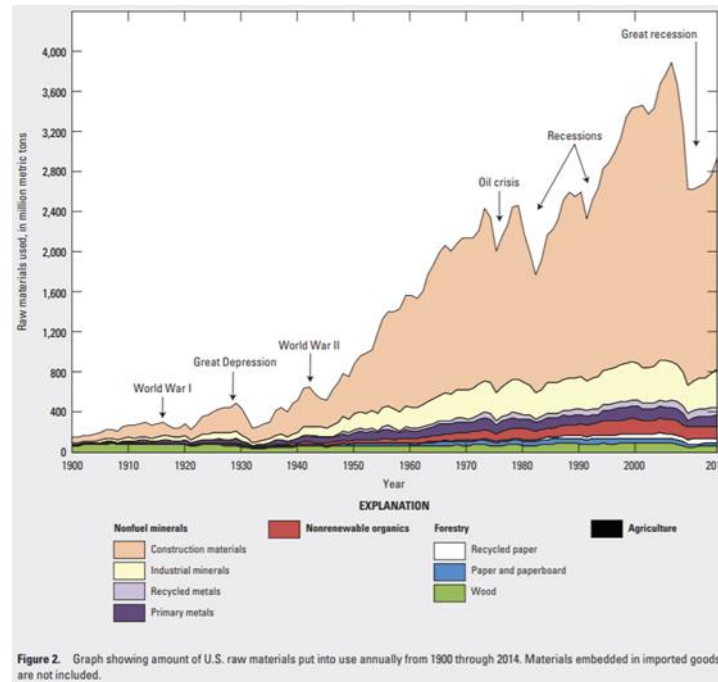


Figura 7: Cantidad de Materias Primas Utilizados en EE. UU. [12]

Según un informe del Servicio Geológico de los Estados Unidos, en el año 2014 se extrajeron 2.100 millones de toneladas métricas de materiales de construcción [12]. En el mismo documento se especifica que el 72% de dichos materiales correspondía por peso a gravilla, arenas de construcción y piedra aglomerada. Este consumo es significativamente menor al pico de 2006, debido al efecto de la crisis financiera mundial, por lo que el consumo actual ha aumentado significativamente desde entonces.

TABLE 5 | HOUSING AND CONSTRUCTION MATERIALS IN THE UNITED STATES, 1975–2000

| Material | Used for: | Consumption in 2000 (thousand metric tons) | % change since 1975 |
|---|---------------------------------------|---|------------------------|
| Asbestos | Roofing products | 9 | -72 |
| Aluminum | Construction | 1,113 | 27 |
| Gypsum | Gypsum products | 27,400 | 201 |
| Clay, ball | Floor and wall tiles | 331 | 373 |
| Clay, ball | Sanitary ware | 274 | 372 |
| Titanium dioxide | Paint, varnishes, and lacquers | 575 | 93 |
| Lumber | Construction | 68,227 | 76 |
| Plywood & Laminated Veneer Lumber (LVL) | Construction | 9,010 | 19 |
| Wood Panels | Construction (estimated 80% of total) | 13,942 | 133 |
| Lumber | Other | 10,698 | 53 |
| Plywood & Laminated Veneer Lumber (LVL) | Other | 3,897 | 128 |
| Wood Panels | Other (estimated 20% of total) | 3,486 | 133 |
| TOTAL | | 138,962 | 91 |
| Total population (millions) | | 275.3 | 28 |
| Total housing units (thousands) | | 115,905 | 46 |

Source: WRI Material Flows Database 2005.

Tabla 4: Materiales Utilizados en el Sector Residencial de EE. UU. [13]

Como se puede observar en la Tabla 4 el sector residencial consumió 138,962 millones de toneladas métricas de los principales materiales de construcción en el año 2000. Para estimar el consumo actual de materiales de construcción para uso residencial, se supondrá que su tamaño relativo en el sector de la construcción fue el mismo en 2014 que en el año 2000. El consumo de materiales de construcción en el año 2000 fue de 2560 millones de toneladas métricas. [12]

$$138,962 \times \frac{2.100}{2.560} = 114 \text{ millones de toneladas métricas}$$

Si lo llevamos a términos per cápita:

$$\frac{114 \text{ millones toneladas métricas}}{325.719.000 \text{ habitantes}} = 0,35 \text{ toneladas por habitante}$$

Capítulo 2. CREACIÓN DEL MODELO DE PROYECCIONES FUTURAS

Una vez conocido el impacto individual per cápita de EE. UU. en los principales sectores de consumo energético lo siguiente será realizar un modelo que, teniendo en cuenta los principales factores diferenciadores, nos permita extrapolar estos datos al escenario futuro de alto desarrollo humano y población estable.

2.1 CONSUMO DE ALIMENTOS

En el escenario futuro planteado la población mundial habrá cesado su crecimiento y se estabilizará. Esto se debe a que a medida que los países se desarrollan y las mujeres ganan importancia en el mercado laboral la tasa de natalidad decrece. Factores como estos están detrás de las estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas, organismo que sostiene que en el año 2100 poblarán la Tierra 10.011.170.000 personas [14].

Para el modelo se asume que el resto de los países adoptan una dieta estadounidense. Sirve como aproximación a la alta debido a que es una dieta dañina para el medioambiente, pero también podría resultar una buena aproximación debido a la influencia de los Estados Unidos en la esfera cultural mundial. A medida que otros países mejoren su calidad de vida querrán asimilarse al modo de vida occidental y americano.

En primer lugar, se dan los niveles actuales de producción mundial primaria de los alimentos que se van a comparar. La producción mundial de verduras es de 794,237 millones de toneladas [15], la producción mundial de frutas es de 549,593 millones de toneladas [16], la producción mundial cereales es de 1,090.6 millones de toneladas [17], la cantidad de productos lácteos es de 760,87 millones de toneladas [17] y la cantidad de productos proteicos se divide en la producción de carne de animal terrestre, 317,85 millones de

CREACIÓN DEL MODELO DE PROYECCIONES FUTURAS

toneladas [18], 199,74 millones de toneladas de pescado [18] y 0,155 millones de toneladas de marisco [18].

Tomando los datos calculados en el apartado de Situación Actual de los Estados Unidos y teniendo en cuenta las previsiones de población, la demanda en el modelo sería de:

$$1,22\text{kg} \times 10.011.170.000 \times 365.25 = 4,46 \times 10^{12} \text{ kg de verduras anuales} =$$

$$= 4.461 \text{ millones de toneladas de verduras anuales}$$

$$0,415\text{kg} \times 10.011.170.000 \times 365.25 = 1,517 \times 10^{12} \text{ kg de frutas anuales} =$$

$$= 1.517,5 \text{ millones de toneladas de frutas anuales}$$

$$0,41\text{kg} \times 10.011.170.000 \times 365.25 = 1,5 \times 10^{12} \text{ kg de cereales anuales} =$$

$$= 1.500 \text{ millones de toneladas de cereales anuales}$$

$$0,84\text{kg} \times 10.011.170.000 \times 365.25 = 3,102 \times 10^{12} \text{ kg productos lácteos anuales} =$$

$$= 3.102 \text{ millones de toneladas de productos lácteos anuales}$$

$$1,502\text{kg} \times 10.011.170.000 \times 365.25 = 5,492 \times 10^{12} \text{ kg proteína animal anuales} =$$

$$= 5.492 \text{ millones de toneladas de proteína animal anuales}$$

Los resultados comparativos se muestran a continuación:

| Grupo Alimenticio | Producción Mundial Actual (MT) | Producción Mundial Modelo (MT) | Variación (%) |
|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------|
| Verduras | 794,237 | 4.461 | 561,67% |
| Frutas | 549,593 | 1.517,5 | 276,113% |
| Cereales | 1,090.6 | 1.500 | 137,53% |
| Prod. Lácteos | 760,87 | 3.102 | 407,69% |
| Prod. Proteicos | 517,745 | 5.492 | 1.060,75% |

Tabla 5: Proyecciones Consumo Futuro y Cambio Porcentual

Como se puede apreciar en todos los casos la demanda aumentaría en el escenario planteado. Para la sostenibilidad a largo plazo algunos alimentos no requerirían de grandes aumentos, como es el caso de los cereales, los cuales los americanos consumen a unos niveles parecidos a la media mundial. Sin embargo, otros requerirían aumentar la producción en gran medida, destacando la carne, el pescado y el marisco, los cuales en conjunto deberán aumentar un 1.060,75% para igualar en consumo estadounidense con potenciales consecuencias catastróficas para el medio ambiente.

2.2 CONSUMO DE AGUA

Para plantear el escenario futuro de consumo de agua se analizarán los sectores de uso de agua, tal y como vienen detallados en el diagrama de Sankey del Lawrence Livermore National Laboratory [Anexo B].

En el sistema hídrico californiano, el 86.4% del agua extraída es agua dulce. Dentro de esta, el 80,32% va destinado sector primario (englobando agricultura, ganadería, irrigación y acuicultura) y el 18,03% se destina al suministro público y municipal de agua. Dentro del

CREACIÓN DEL MODELO DE PROYECCIONES FUTURAS

suministro público y municipal de agua, el 58.54% es para uso residencial y el 29.27% para uso comercial.

En definitiva, el subsector residencial y el subsector comercial suponen respectivamente el 9,12 % y el 4,56% del total de agua usado y un 10,55% y 5,28% del total de agua dulce consumida.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (FAO por sus siglas en ingles) en el planeta se retiran 4.000 kilómetros cúbicos de agua anualmente [19]. Usando el dato de consumo de agua per cápita en EE. UU. calculado en el apartado de estado del arte se puede calcular el consumo estimado en nuestro modelo:

$$1.331.402 \text{ litros} \times 10.011.170.000 [14] = 1,33 \times 10^{16} \text{ litros anuales} =$$

$$= 13.328,9 \text{ kilómetros cúbicos anuales}$$

En total, esto supone que en nuestro modelo para un futuro a largo plazo la extracción de agua tendría que aumentar en un 333,22% para abastecer la demanda mundial. Esto podría presión en los recursos hídricos de muchos países, especialmente aquellos que se encuentran cerca de la barrera de consumo sostenible. [Anexo D]

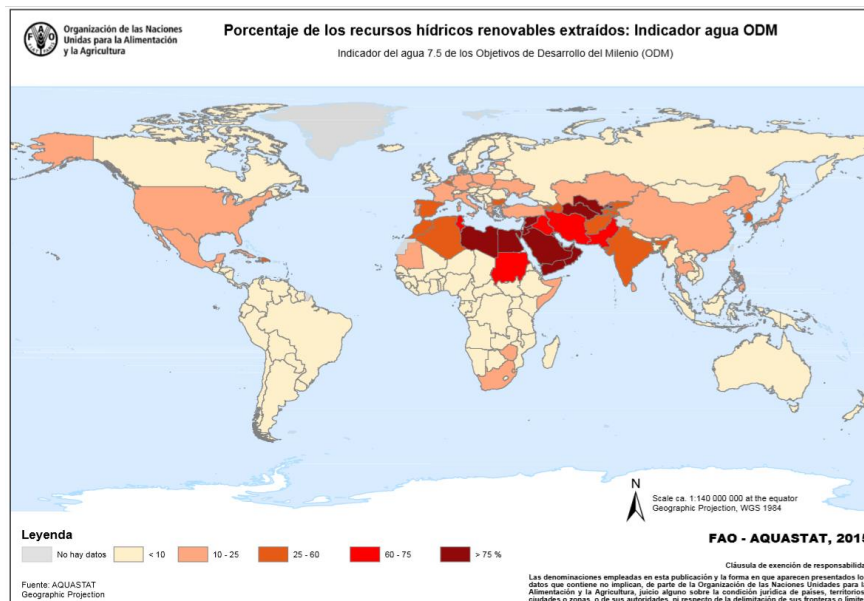


Figura 8: Anexo D

Esta nueva situación pondría en riesgo de escasez hídrico aquellos lugares cuyos recursos renovables se encuentran sobreexplotados en la actualidad, como los países de Oriente Medio, y los países donde el crecimiento poblacional será más acusado, como el caso de África Subsahariana.

2.3 SECTOR TRANSPORTE

Para poder proyectar la demanda de recursos en el sector transporte en el futuro en primer lugar se compartimentará por sectores. En un informe de la EIA americana podemos encontrar dicha subdivisión en porcentaje de consumo energético para varios países y regiones, entre ellas EE. UU. [20].

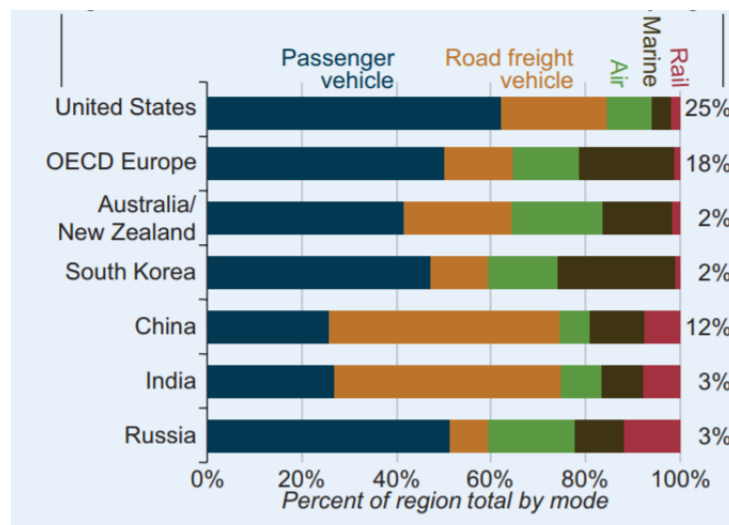


Figura 9: Gasto Energético Por Medios de Transporte en Diferentes Regiones del Mundo [20]

Como fruto de la investigación para este proyecto, se encontró que un factor altamente influyente en el consumo energético en el sector transporte es la densidad de población. En ciudades altamente compactadas los servicios requeridos por los habitantes quedan mucho más cerca de los hogares que en un ambiente rural, debido a la mayor concentración de empresas, tiendas e instituciones educativas por unidad de área. A su vez, la mayor concentración permite hacer económicamente viable los servicios de transporte público, mucho más eficientes que los vehículos privados en consumo energético por pasajero.

En este trabajo se utilizará una investigación de la Universidad de Sheffield en Reino Unido, la cual encontró una relación exponencial entre el consumo de energía en transporte por carretera y la densidad de población para la población estadística de todas las entidades municipales de Inglaterra y Gales, incluyendo zonas rurales y urbanas. [21]. En dicho estudio encontraron una fórmula que mejor representaba dicha relación.

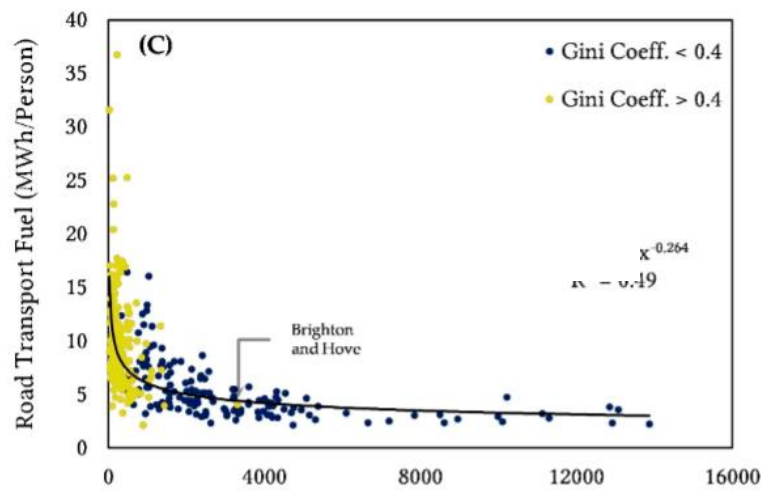


Figura 10: Consumo Per Cápita de Combustible con Relación a la Densidad de Población para Municipios de Inglaterra y Gales [21]

Este fenómeno queda reforzado con la investigación de Newman y Kenworthy, en la cual una relación parabólica relacionaba el gasto energético en ciudad y la densidad de población en las principales ciudades del mundo. En dicha investigación se encontró un valor $R^2=0,86$, significando que este hecho podía explicar casi toda la variación de los datos. [22]

CREACIÓN DEL MODELO DE PROYECCIONES FUTURAS

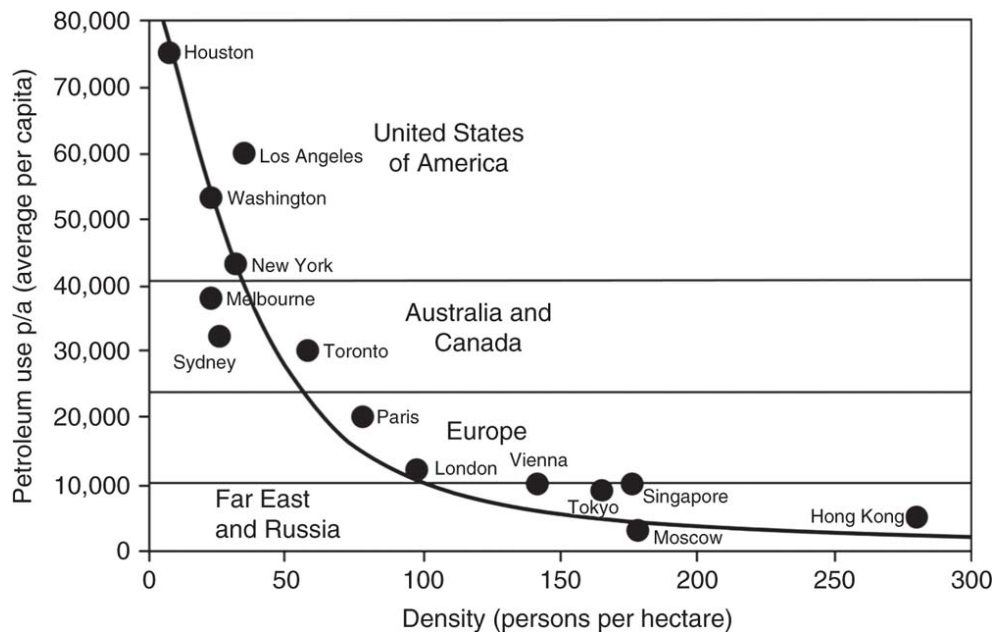


Figura 11: Relación entre Densidad de Población y Consumo Per Cápita de Petróleo para Grandes Ciudades del Mundo [22]

Hay un matiz que se debe mencionar y es que no sería correcto aproximar los porcentajes de consumo energético del mundo igualándolos a los obtenidos para EE. UU. Esto se debe a que las características geográficas de un país determinan en gran medida estas relaciones. Por ejemplo, un país sin costa no dedica ningún recurso energético al transporte marítimo. Por este motivo se considera más adecuado aproximar el reparto energético futuro del sector transporte según el reparto energético mundial actual. En cualquier caso, se pueden calcular ambas aproximaciones a modo de comparación.

El modo de proceder consistirá en comparar las proporciones entre el consumo por sectores en EE. UU. y el consumo por sectores mundial. De un informe de la EIA americana se sacan los datos los cuales aparecen representados en la siguiente tabla [20]:

| Sectores Transporte | EE. UU. | Global |
|---------------------------------|----------------|---------------|
| Transporte pasajeros carretera | 62,21% | 49,06% |
| Transporte mercancías carretera | 22,36% | 17,98% |
| Transporte aéreo | 9,51% | 9,3% |
| Transporte Marítimo | 3,85% | 14,73% |
| Transporte por ferrocarril | 2,06% | 4,5% |

Tabla 6: División Porcentual de los Principales Sectores de Consumo Energético en Sector Transporte [20]

Para el modelo se usará la fórmula referente a la relación exponencial entre densidad de población y consumo de energía en transporte en carretera mencionada anteriormente [21]:

$$Y = 11.048x(Z^{-0.264})$$

En donde Y= es el consumo energético en carretera en MWh per cápita anuales y Z es la densidad de población en personas por kilómetro cuadrado.

Para encontrar el consumo de nuestro modelo se necesitará una lista completa de países junto a su población y su densidad de población en kilómetros cuadrados. Dicha información se encuentra disponible en el visor online del Banco Mundial. En el sector de transporte de pasajeros utilizaremos la fórmula matemática para calcular el valor correspondiente a cada país y calcular el ratio entre dicho valor y el obtenido para estados unidos. Después, conocido el consumo de energía en transporte per cápita en EE. UU. [Anexo A], usaremos la siguiente fórmula para calcular el consumo per cápita de cada país:

$$\begin{aligned} & \text{Consumo per cápita país } X = \\ & = 0,5094 * \text{Consumo per cap. USA} + 0,4906 * \text{Ratio País } X/\text{EEUU} * \text{Consumo per cap. USA} \end{aligned}$$

Se asumirá que el consumo per cápita en el resto de sectores (marítimo, transporte de mercancías por carretera, aéreo y ferrocarril) será equivalente al de Estados Unidos, dado que no se han encontrado aproximaciones más precisas.

Después de calculadas todas las densidades de población se calculará la aportación al consumo mundial de cada país multiplicando el resultado per cápita por el número de habitantes de cada país. Tras este paso, se ponderarán las aportaciones de cada país entre el dato de población mundial estimada, 10.011.170.000 [14], quedando finalmente los resultados de consumo mundial estimado para nuestro modelo. Todos los cálculos anteriormente escritos se llevaron a cabo en una hoja de cálculo.

En caso de seguir este proceso el resultado mundial que obtenemos es de:

$$7,84255E + 11 \text{ GJ anuales mundiales}$$

En caso de simplemente extender el dato de consumo per cápita en transporte de estados unidos a todos los habitantes de la tierra el resultado es de:

$$7,51979E + 11 \text{ GJ anuales mundiales}$$

Como podemos observar, no existen grandes diferencias porcentuales entre las aproximaciones obtenidas en uno otro caso, si bien la justificación teórica permite considerar la primera como un dato más fiable.

2.4 SECTOR ELÉCTRICO

Al igual que en los demás casos, se empezará por analizar los usos concretos que forman el consumo eléctrico total para entrar en las causas detrás de estas cifras y finalmente poder modelizar nuestra proyección futura.

La EIA tiene en su página web un desglose de los porcentajes necesarios para el modelo. Dentro de la economía estadounidense, el 38% del consumo eléctrico se debe al sector residencial, el 37% se invierte en abastecer la demanda del sector comercial, un 25% se destina a la industria y un 0.2% al transporte (metro y coches eléctricos) [23].

Dentro del consumo residencial las mayores partidas son enfriamiento de espacios (*space cooling* en inglés) con un 17,5%, el calentamiento de agua para ducha y calefacción 9,5%, iluminación 9,2% y calefacción (*space heating* en inglés) con un 9,1%. De estos factores no se contará la iluminación debido a que en este es más complicado intuir o estimar el efecto del ser humano como efecto modulador del gasto eléctrico en iluminación. Con respecto al total el enfriamiento de espacios representa el 6,65% y la calefacción de espacios representa un 3,46%.

En el sector comercial los principales usos del consumo son la refrigeración de productos con un 13,8%, el uso de ordenadores y otros equipos de oficina con un 12,6%, enfriamiento de espacios (*space cooling*) con un 11,9%, ventilación de espacios con un 11,2% e iluminación con un 11%. Dentro de estos factores la iluminación se descarta para mayor análisis por las razones esgrimidas en el párrafo anterior. En un principio el modelo asumirá que el consumo en ordenadores y otros equipos de oficina permanecerá constante. La refrigeración variará de acorde a la variación de alimentos y se calculará en el Capítulo 4: Parametrización Según Tamaño. Con respecto al total el enfriamiento de espacios en el sector comercial representa el 4,4% del consumo.

Al analizar las diferentes partidas en el sector industrial, observamos que los principales usos son los accionamientos eléctricos (motores eléctricos principalmente) con un 49%, el calentamiento de calderas destinado a procesos con un 13% y la ventilación de espacios con

CREACIÓN DEL MODELO DE PROYECCIONES FUTURAS

un 9%. Los motores eléctricos están integrados con prácticamente todos los procesos de la industria y por ese motivo resulta difícil estimar cómo podría ser afectado por un hipotético cambio de consumo ligado a una variación en el ser humano promedio. Es por eso que se asumirá que el consumo en esta partida se mantiene constante. En el caso de calentamiento de calderas para procesos sucede igualmente que es muy general y comprende una amplia variedad de productos, faltando información para una estimación más detallada por lo que se considerará constante.

Recapitulando, para los efectos de este apartado el enfriamiento de espacios residenciales (6,65%), el enfriamiento de espacios en el sector comercial (4,4%) y la calefacción de espacios residenciales (3,46%) serán los tres factores en los cuales se centrará esta proyección futura. En total suman un 14,5% del consumo individual que podrá variar la cifra final. Todos estos factores están relacionados entre sí por una gran dependencia de la variable temperatura. El principal determinante de la variación en estas partidas será el clima. Con la intención de estimar fidedignamente dichos cambios se utilizará un modelo climático mundial.

Con este propósito el primer paso es obtener la información. La principal complicación reside en no solo obtener la información climática por regiones sino en cruzarla con la población mundial según la densidad de población en cada región. A su vez, las clasificaciones de clima son múltiples y se debe tener en cuenta que no dejan de ser simplificaciones de la realidad que permiten que sean categorizarles. Tras una búsqueda exhaustiva de datos fiables (y actuales) de densidad de población según latitud y longitud se descarta dicha vía. En su lugar se encontraron unos mapas mundiales de una colaboración

entre la NASA y la Universidad de Columbia elaborados por el SEDAC los cuáles se muestran a continuación [44]:

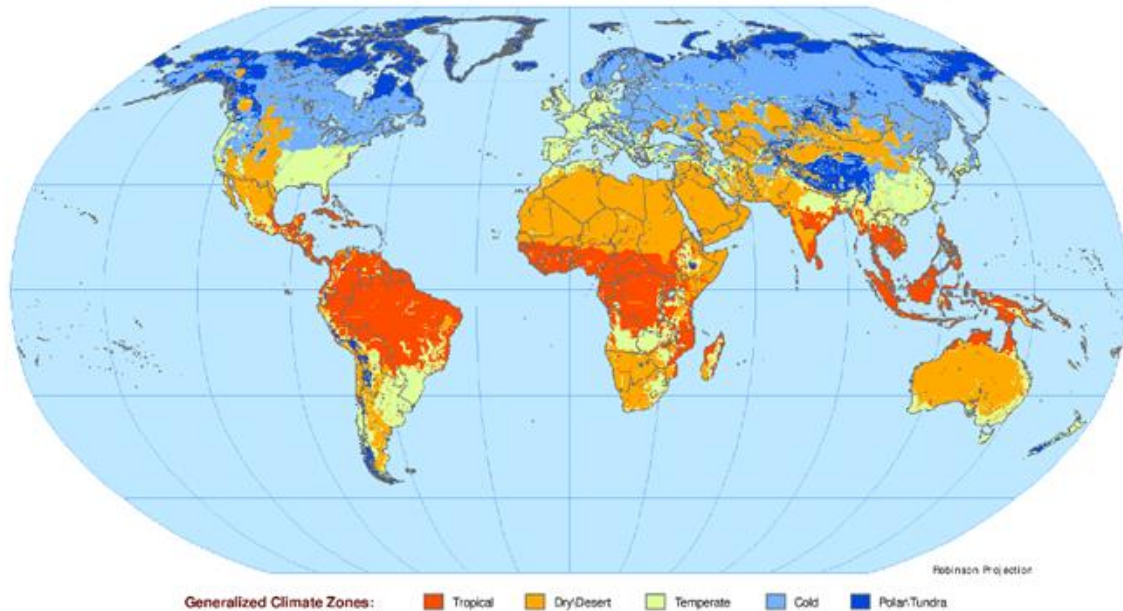


Figura 12: Mapamundi Dividido en las 5 Categorías Generales de la Clasificación Climática de Koppen [24]

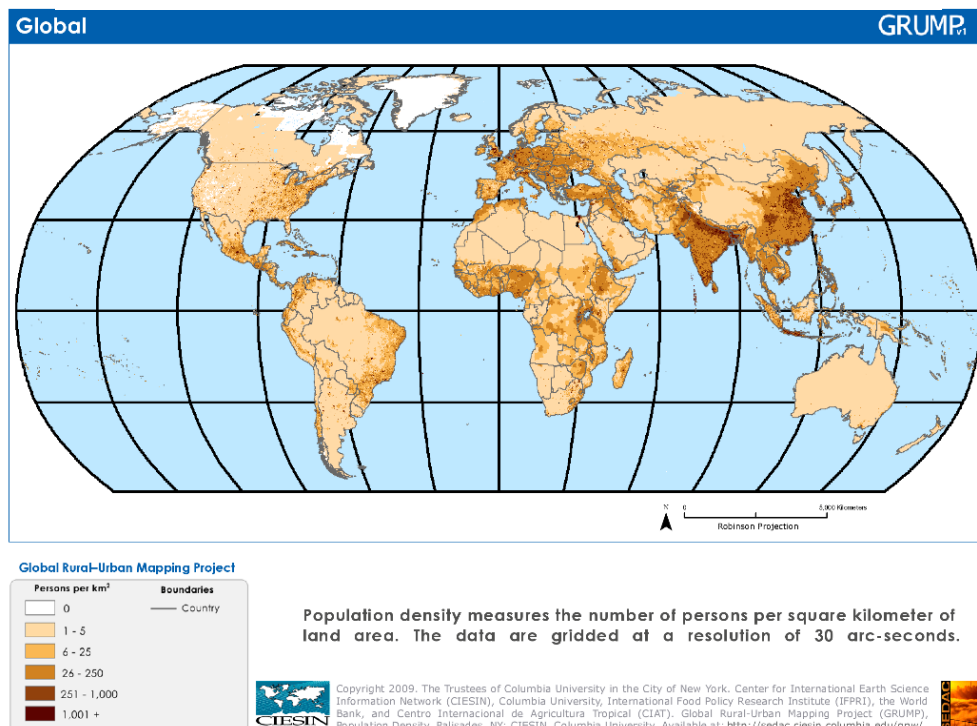


Figura 13: Mapamundi Dividido en 6 Categorías según Densidad de Población [24]

Como se puede observar ambos mapas utilizan la misma proyección del globo terráqueo y esto es fundamental para los siguientes pasos. Utilizando una página web disponible en Internet se dividieron dichos mapas, y como consecuencia las regiones terrestres, en un mosaico de 11 columnas y 6 filas. El motivo de esta división es que cuantos más cuadros mayor precisión en el proceso que se describirá a continuación, si bien más tiempo para elaborar el modelo así que 66 celdas se consideró una solución óptima de ambos problemas.

El modus operandi fue el siguiente:

-Utilizando el selector de colores de Paint se encuentran los valores de rojo, verde y azul (siguiendo el sistema RGB utilizado en todos los ordenadores) y su rango de cada categoría de los mapas de climas y densidad de población en los mapas.

-Usando un programa en JAVA diseñado en colaboración con Todd Leach, actualmente estudiante e investigador en Boston University, y cuyo código se incluye en el Anexo E, se analiza cada celda individualmente distinguiendo los colores de cada pixel y contando el total acumulado de píxeles de cada color. En la práctica, este programa permite contar en número de píxeles en una imagen según los colores que previamente hemos definido en la escala RGB.

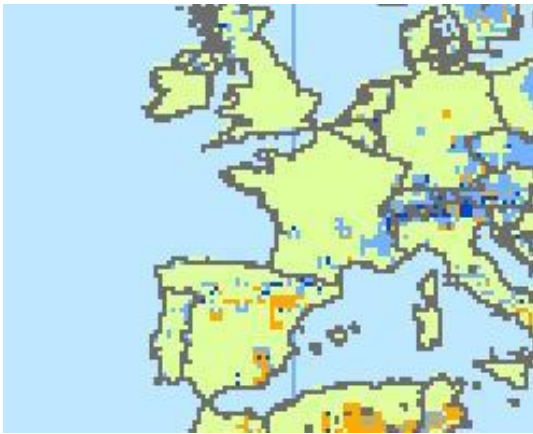
-Una vez obtenidos dichos datos se elabora el porcentaje relativo de cada clima por cuadro y de densidades de población por cuadro utilizando para ello una hoja de cálculo de Excel.

-En otra hoja de cálculo se estima la población residente en cada cuadro. Para ello se toman los porcentajes de densidad de población, se supone que hay tanta población como píxeles de un determinado color multiplicados por la media del rango de la categoría. Por último, se suman los resultados globales y se ajustan teniendo en cuenta el dato de población real año 2017 [100]. En el caso de este proyecto las poblaciones de cada cuadro se aumentaron 4,42 veces. Para calcular los datos de población mundial según mi estimación he utilizado el dato de superficie terrestre $148,940,000 \text{ km}^2$ [25] menos el dato de superficie de la Antártida $14,000,000 \text{ km}^2$ [26].

CREACIÓN DEL MODELO DE PROYECCIONES FUTURAS

-A continuación, se cruzan los porcentajes de los diversos climas por cuadro con los datos de población por cuadro suponiendo un reparto uniforme de la población por climas dentro de dicho cuadro (por ello cuantos más cuadros mayor precisión, dado que en la realidad no es uniforme. Es equivalente a aumentar el paso de integración)

-Finalmente hemos obtenido el dato de la población mundial por cada clima que nos permitirá estimar las diferencias con respecto a EE. UU.



*Figura 14: Celda del Modelo Climático Mundial
Correspondiente a Europa Occidental*



*Figura 15: Celda del Modelo de Densidad
Población Mundial Correspondiente a Europa
Occidental*

| | Blue | Green | Red | minBlue | maxBlue | minGreen | maxGreen | minRed | maxRed |
|---------------------|------|-------|-----|---------|---------|----------|----------|--------|--------|
| Polar/Tundra | 217 | 71 | 0 | 197 | 237 | 51 | 91 | 0 | 20 |
| Cold | 255 | 178 | 115 | 235 | 275 | 158 | 198 | 95 | 121 |
| Temperate | 156 | 255 | 222 | 136 | 176 | 235 | 275 | 202 | 242 |
| Dry/Dessert | 0 | 170 | 255 | 0 | 20 | 150 | 190 | 235 | 275 |
| Tropical | 0 | 76 | 253 | 0 | 20 | 56 | 96 | 233 | 273 |

Tabla 7: Valores del Sistema RGB empleados en el Anexo E correspondientes a las Categorías Climáticas

Tras analizar y llevar a cabo los cálculos oportunos los resultados mundiales son los siguientes:

- El 3.8% de la población habita zonas de clima polar o de alta montaña. (380,783,983 personas)
- El 25.73% de la población habita zonas de clima frío. (2,575,427,671).
- El 39.44% de la población habita zonas de clima templado. (3,947,977,160).
- El 14.27% de la población habita zonas de clima seco o desértico. (1,428,315,054)
- El 16.77% de la población habitará zonas de clima tropical. (1,678,654,896)

Nótese que debido a la metodología cogida (suponer distribución uniforme dentro de los cuadros) es probable que la población de climas polares y de climas desérticos este sobre representada.

A continuación, se repetirán los pasos seguidos para el caso mundial para estudiar el reparto de población por climas en los EE. UU. con el objetivo de poder comparar y extrapolar los gastos de consumo energético en aire acondicionado y calefacción a nivel mundial a partir de los datos disponibles de entidades públicas estadounidenses. La fuente de los mapas para EE. UU. Es la misma que es el caso mundial.



Figura 16: Celda del Modelo Climático EE. UU. Correspondiente a la Región de los Grandes Lagos



Figura 17: Celda del Modelo de Densidad Población EE. UU. Correspondiente a la Región de los Grandes Lagos

CREACIÓN DEL MODELO DE PROYECCIONES FUTURAS

| | Blue | Green | Red | minBlue | maxBlue | minGreen | maxGreen | minRed | maxRed |
|-------|------|-------|-----|---------|---------|----------|----------|--------|--------|
| 0 | 255 | 255 | 255 | 220 | 255 | 220 | 255 | 220 | 255 |
| 1 | 166 | 218 | 255 | 136 | 186 | 198 | 238 | 235 | 255 |
| 6 | 84 | 184 | 250 | 64 | 120 | 164 | 204 | 230 | 255 |
| 26 | 32 | 130 | 209 | 12 | 52 | 110 | 150 | 189 | 229 |
| 251 | 12 | 65 | 145 | 0 | 32 | 45 | 85 | 125 | 165 |
| 1.000 | 0 | 20 | 92 | 0 | 20 | 0 | 40 | 72 | 112 |

Tabla 8: Valores del Sistema RGB empleados en el Anexo E correspondientes a las Categorías de Densidad de Población

Para este caso los resultados son los siguientes:

- El 1 % de la población de EE. UU. vive en climas polares.
- El 22.26% de la población de EE. UU. vive en climas fríos.
- El 62.65% de la población de EE. UU. vive en climas templados.
- El 10.74% de la población de EE. UU. vive en climas desérticos.
- El 2.35% de la población de EE. UU. vive en climas tropical.

A continuación, se definirá la temperatura media para cada tipo de clima. El objetivo es tener en cuenta el efecto de los diferentes climas en el consumo total de energía para climatización de espacios. Esto se realizará con una aproximación de los grupos generales de la clasificación de Koppen [27].

Los climas tropicales se caracterizan por tener una temperatura media por encima de 18°C durante todo el año. Se tomará una temperatura media de 25°C para el caso de enfriamiento de espacios y no se considerará el caso de calentamiento de espacios. Los climas templados se caracterizan por tener una temperatura media de entre 3° y 18°. Es por eso que se tomará una temperatura exterior media de 18°C para el caso de enfriamiento y de 3°C para el caso de calentamiento. La temperatura media en los climas fríos oscila entre los -3 y los 10°C. La temperatura superior en el caso de climas fríos es de 10°C y el mínimo de -3°C. En el caso de clima desértico tomaremos una temperatura alta de 35°C y una temperatura baja de 0°C dado que los climas desérticos tienen gran variación entre día y noche. Por último, en los

CREACIÓN DEL MODELO DE PROYECCIONES FUTURAS

climas polares y de alta montaña no se considerará el caso de enfriamiento y solo se utilizará una temperatura de -15°C para el caso de calentamiento de espacios.

En el consumo de energía para climatización juega un papel fundamental la variación de temperatura. La potencia calorífica varía linealmente con esta, dependiendo además del área expuesta y de la resistencia térmica. Se pondrá la referencia en el consumo para clima templado el cual tendrá un valor unitario de 1 (o 100% en porcentaje). La temperatura de referencia se tomará como la temperatura de confort, 20°C para el caso de calentamiento y 24°C para el caso de enfriamiento. Los cálculos se realizarán en grados Kelvin.

| Calentamiento de Espacios | | |
|---------------------------|----------------------|--------------------------|
| Clima | Δ Temperatura | Ratio con clima templado |
| Templado | 293-276=17 | 1 |
| Frío | 293-270=23 | 1.353 |
| Tropical | - | - |
| Desértico | 293-273=20 | 1.176 |
| Polar | 293-258=35 | 2.06 |

Tabla 9: Cálculo de los Parámetros Climáticos para el Caso de Calentamiento de Espacios

| Enfriamiento de Espacios | | |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Clima | Δ Temperatura | Ratio con clima templado |
| Templado | 297-291=6 | 1 |
| Frío | $1 - ((297-283)-6)/6$ | 0.667 |
| Tropical | 298-297=1 | 0.167 |
| Desértico | 308-297=11 | 1.833 |
| Polar | - | - |

Tabla 10: Cálculo de los Parámetros Climáticos para el Caso de Enfriamiento de Espacios

Siguiendo todos estos coeficientes podemos calcular el “ratio equivalente”, cruzando los datos con la población que vive en cada tipo de clima. Después encontraremos la relación entre las ratios equivalentes de EE. UU. y el mundo para estimar el consumo eléctrico mundial.

Enfriamiento

Ratio equivalente Global =

$$= 0.038x0 + 0.2573x0.667 + 0.3944x1 + 0.1427x1.833 + 0.1677x0.167$$

$$= 0 + 0.1716 + 0.3944 + 0.2616 + 0.028 = 0.8556$$

Ratio equivalente USA =

$$= 0.01x0 + 0.226x0.667 + 0.6265x1 + 0.1074x1.833 + 0.0235x0.167$$

$$= 0,1507 + 0.6265 + 0.1969 + 0.00392 = 0,978$$

Calentamiento

Ratio equivalente Global =

$$= 0.038x2.06 + 0.2573x1.353 + 0.3944x1 + 0.1427x1.833 + 0.1677x0$$

$$= 0.0783 + 0.348 + 0.3944 + 0.262 + 0 = 1.0827$$

Ratio equivalente USA =

$$= 0.01x2.06 + 0.226x1.353 + 0.6265x1 + 0.1074x1.833 + 0.0235x0$$

$$= 0.0206 + 0.306 + 0.6265 + 0.197 = 1.1501$$

Por lo tanto, sabiendo que el consumo eléctrico de un estadounidense promedio es de 33.739 KWh y que las partidas de enfriamiento de espacios residencial, enfriamiento de espacios en el sector comercial y la calefacción de espacios residenciales son 6,65%, 4,4% y 3,46% respectivamente, podemos estimar el consumo eléctrico mundial:

$$33.739x \left(0,855 + \frac{0,8556}{0,978} x 0,0665 + \frac{0,8556}{0,978} x 0,044 + \frac{1,0827}{1,1501} x 0,0346 \right) =$$

$$= 33.739x(0,855 + 0,058 + 0,0385 + 0,0326) =$$

33.202 kWh por persona

Así pues, se observa como el consumo apenas difiere con el actual de EE. UU. Una vez realizada esta aproximación sabemos que podríamos haber incluso cogido el dato estadounidense desde un principio.

Traducido a términos mundiales, si multiplicamos el valor que acabamos de obtener por la población total en la Tierra obtenemos:

$$10.011.170.000 \times 33.202 = 3,32 \times 10^{14} \text{ kWh} = 0,332 \text{ EWh}$$

2.5 SECTOR RESIDENCIAL

Para la proyección del sector residencial de nuestro modelo se utilizarán los datos calculados en el apartado de Situación Actual de los Estados Unidos, concretamente el consumo energético per cápita ligado a la utilización de los hogares (35,61 GJ per cápita), la contaminación per cápita asociada a dicho consumo (3.433 T CO₂) y las toneladas anuales de materiales de construcción que corresponden a cada habitante de la nación norteamericana (0,35 toneladas).

Conocemos cuál sería la reducción del consumo de electricidad residencial dado que se estudió su enfriamiento y su calentamiento y se sabe el tamaño relativo dentro del consumo de casas. Concretamente, el calentamiento de espacios residenciales supone el 9,1% del consumo y el enfriamiento el 17,5%.

Ajustado por los valores de climatización el consumo eléctrico mundial relativo será:

$$0,734 + \frac{0,8556}{0,978} \times 0,175 + \frac{1,0827}{1,1501} \times 0,091 =$$

$$0,734 + 0,153 + 0,086 = 0,972$$

El consumo eléctrico se verá disminuido en un 2.7%. El consumo energético correspondiente al consumo residencial de gas natural y de derivados del petróleo se verá aminorado por el factor de enfriamiento calculado en el apartado anterior, siendo este $0,8556/0,978= 0.8748$.

Teniendo en cuenta estos datos y sabiendo por el diagrama de flujo energético del LLNL [Anexo A] el porcentaje que representan el consumo energético eléctrico, de gas natural, derivados del petróleo y biomasa sobre el total (todos mencionados en el apartado de estado del arte) obtenemos que el consumo energético relativo per cápita en el caso residencial es de:

$$0,0227 + 0.4364 \times 0,972 + (0,4127 + 0,0927 + 0,0354) \times 0,8748 =$$

$$0,0227 + 0,4242 + 0,4731 = 92\%$$

Tomando el dato que se expuso en el apartado de estado del arte, el consumo absoluto por residente mundial será de:

$$0,92 \times 35,61 \text{ GJ} = 32,76 \text{ GJ}$$

En términos globales contando a toda la población, arroja un resultado de:

$$10.011.170.000 [14] \times 32,76 \times 10^9 = 3,28 \times 10^{20} \text{ J} = 328 \text{ EJ}$$

Teniendo en cuenta el efecto del consumo energético de cada uno de los sectores de consumo comentados y su influencia en la contaminación global según el diagrama de emisiones de carbono del LLNL [Anexo C] se calcularán las nuevas emisiones contaminantes per cápita. El gas natural (en su gran mayoría metano) contamina 53,07 kilogramos por cada millón de BTU [28]. El consumo de electricidad emite 0,153 Toneladas de CO₂ por cada GJ (tomado de los diagramas LLNL, 2040 millones de toneladas de CO₂ emitidas por 13,293 EJ). Los derivados del petróleo usados para calefacción contaminan aproximadamente 73,16 kilogramos por cada millón de BTU [28]. La biomasa y el resto de fuentes del diagrama de Sankey energético no emiten gases contaminantes a la atmósfera.

CREACIÓN DEL MODELO DE PROYECCIONES FUTURAS

El cálculo de cantidad de energía obtenida mediante gas natural se obtendrá multiplicando el coeficiente debido al clima por el dato de su porcentaje relativo en EE. UU. por el consumo futuro mundial:

$$0,4127 \times 0,8748 \times 328 \text{ EJ} = 118,42 \text{ EJ}$$

Esto implica emisiones de:

$$118,42 \times 10^9 \times 53,07 \times 0,948 \left(\text{relacion} \frac{\text{MBTU}}{\text{GJ}} \right) =$$

$$5,957 \times 10^{12} \text{ kg de CO}_2 = 5.957 \text{ Millones de Toneladas de CO}_2$$

El cálculo de cantidad de energía consumida mediante electricidad se obtendrá multiplicando el coeficiente debido al clima por el dato de su porcentaje relativo en EE. UU. por el consumo futuro mundial:

$$0,4364 \times 0,972 \times 328 \text{ EJ} = 139,13 \text{ EJ}$$

Esto implica emisiones de:

$$139,13 \times 10^9 \times 153 =$$

$$2,129 \times 10^{13} \text{ kg de CO}_2 = 21.290 \text{ Millones de Toneladas de CO}_2$$

El cálculo de cantidad de energía consumida mediante derivados del petróleo en el sector residencial se obtendrá multiplicando el coeficiente debido al clima por el dato de su porcentaje relativo en EE. UU. por el consumo futuro mundial:

$$0,0927 \times 0,8748 \times 328 \text{ EJ} = 26,6 \text{ EJ}$$

Esto implica emisiones de:

$$26,6 \times 10^9 \times 73,16 \times 0,948 \left(\text{relacion} \frac{MBTU}{GJ} \right) =$$

$$1,845 \times 10^{12} \text{ kg de } CO_2 = 1.845 \text{ Millones de Toneladas de } CO_2$$

En total, el sector residencial, de tener las características de tamaño y operación de los estados unidos, consumiría anualmente 328 EJ y emitiría 29.092 millones de toneladas de CO₂ en el año 2100.

Con respecto a los materiales necesarios de construcción anual, se calculará una casa promedio a base de datos oficiales con la cuál poder contrastar las variaciones resultantes de la optimización de tamaño del ser humano en apartados posteriores.

Por motivos de simplicidad y como primera aproximación (la modelización se podría hacer más exacta, pero escapa los objetivos de este proyecto), nuestro modelo de casa tendrá base cuadrada y supondremos que el techo aísla en la misma medida por unidad de área que las paredes. Esto no sería así en la realidad, si bien nos sirve como cota máxima de estimación puesto que en la mayoría de casos el techo cuenta con varias capas y aísla más que las paredes. De este modo, nuestra casa modelo quedará definida por cuatro parámetros, la altura del techo, el área de la base, el grosor de las paredes y el grosor del techo.

La altura de los techos es un valor que comúnmente se sitúa en los 2,5 metros. Es una altura estándar en la arquitectura e incluso a veces está recogido en los códigos urbanismo, como es el caso de la Comunidad de Madrid [29]. Una altura de 2,2 m hoy en día está solo aceptada para pasillos, cocinas o baños.

El área de la planta se tomará de los datos del informe anual sobre vivienda nueva que prepara el Departamento de Comercio de los Estados Unidos [29]. En dicho informe se indica que para casas unifamiliares el tamaño medio de planta fue de 2.392 pies cuadrados. Para las casas de más de un hogar, el tamaño medio fue de 1.494 pies cuadrados. La casa promedio de estados unidos se encontrará en un punto medio ponderado entre estos dos. Para

CREACIÓN DEL MODELO DE PROYECCIONES FUTURAS

saber cuál es la frecuencia relativa de cada tipo de casa utilizaremos un artículo del Washington Post que corresponde a la fuente [30]. En este se analizan los diferentes tipos de casas en las principales áreas metropolitanas.

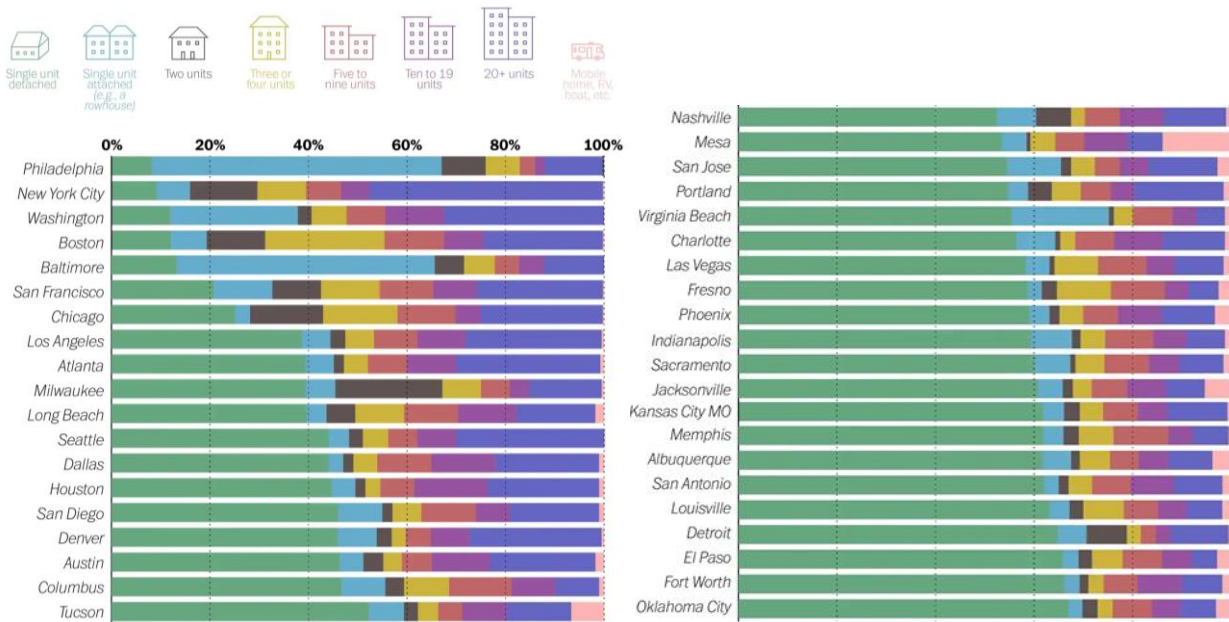


Figura 18: Tipo de Viviendas en las Principales Ciudades de EE. UU. [30]

Como se puede observar, en la gran mayoría de grandes ciudades las viviendas unifamiliares individuales son el principal sector residencial. En los municipios rurales este dominio es incluso mayor. Las viviendas unifamiliares individuales representan el 64,6% de los hogares en las ciudades y el 78,3% en el entorno rural. Considerando que el 80,7% de la población vive en entornos urbanos [31]:

$$: 0,807x(0,646x2.392 + 0,354x1.494) + 0,193 * (0,783x2.392 + 0,217x1.494) =$$

$$= 1,673,8 + 424,05 = 2.097,84 \text{ sqft} = 194,896 \text{ m}^2$$

El grosor de las paredes se tomará como de 15 cm, el cuál es un valor bastante común si ignoramos el grosor de los muros de carga, los cuales son los menos en viviendas. El grosor del techo se tomará de 30 cm teniendo en cuenta que normalmente incluyen espacio para cables eléctricos o tuberías.

CREACIÓN DEL MODELO DE PROYECCIONES FUTURAS

Los parámetros anteriormente definidos serán utilizados para calcular el área exterior de la vivienda y el volumen de materiales de construcción necesarios. El lado de la casa medirá 13,96 metros.

$$A_{lateral} = 4 \times 13,96 \times 2,5 = 139,6 \text{ m}^2$$

$$A_{total} = A_{lateral} + A_{base} = 139,6 + 194,89 = 334,49 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= (194,896 - (13,96 - 0,15 \times 2)^2) \times 2,5 + 194,896 \times 0,3 = \\ &= 20,75 + 58,47 = 79,22 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Capítulo 3. EL SER HUMANO COMO SISTEMA ENERGÉTICO

El ser humano está profundamente conectado con el entorno que le rodea. Los conocimientos científicos y miles de años de innovación le han situado en una posición predilecta en el planeta Tierra. Cuando tiene una necesidad, extrae los recursos del entorno para cubrirla y a menudo sin consideración por las consecuencias para las generaciones venideras.

En numerosas situaciones nuestras características físicas influyen de forma directa en los recursos energéticos y materiales que demandamos. Entender este efecto y estudiar su impacto puede darnos nuevas y útiles herramientas para limitar nuestro impacto en el medio sin influir significativamente en nuestra calidad de vida.

En este trabajo nos centramos en los parámetros de tamaño físico del ser humano tales como la altura, la anchura o el peso. El sentido de optimizar estos parámetros reside en afectar tanto el consumo de agua y alimentos requerido como el volumen y área de las construcciones humanas, todo ello reduciendo el impacto sobre el medio ambiente.

Para ello se perfilarán cuatro casos base que se utilizarán a lo largo del Capítulo 4: Parametrización Según Tamaño. El primero será el caso base, el caso de seres humanos con estatura, peso y características promedio de los Estados Unidos a fecha actual. El segundo será un país en vías de desarrollo con una población particularmente pequeña en comparación con la media mundial. Tras investigar a cerca de ello Indonesia es un país adecuado a estos efectos. El tercer caso se tratará de generalizar las dimensiones de una tribu africana llamada Baka que reside en países como la República del Congo, la República Centroafricana o Gabón. Anteriormente se les denominó pigmeos por los colonizadores europeos si bien este término está en desuso. Destacan por su escasa estatura en comparación con los demás grupos étnicos del planeta. El cuarto y último caso es el de personas con acondroplasia, una de las primeras causas de lo que comúnmente se denomina enanismo. El

objetivo de este último tamaño es explorar los límites de la optimización del tamaño del ser humano.

A parte de peso y altura, el metabolismo basal será muy relevante para el modelo por sus implicaciones sobre el consumo de alimentos y agua. El metabolismo basal se define como el gasto mínimo energético de un ser vivo compatible con la vida. Por tanto, el metabolismo basal no predice el consumo energético de un sujeto, dado que este puede realizar múltiples actividades, como el ejercicio físico, que no están contempladas en esta definición, pero predice el consumo *seguro* que va a tener lugar. [32]

El metabolismo basal resulta imposible de medir en cada individuo concreto pues requiere de un análisis prolongado y detallado, por lo que se recurre a su relación estadística con otras variables. Una posibilidad es utilizar la superficie corporal, que guarda una buena correlación con las tasas de metabolismo basal [34] y se puede estimar por fórmulas como la de Du Bois & Du Bois [35]. Sin embargo, el peso guarda una relación caso igual de estrecha y se puede medir de forma directa por lo que la incertidumbre resultante es menor [34].

Dos factores determinantes resultan el sexo y la edad. Los hombres consumen mayor energía corporal mínima para cualquier grupo de edad que las mujeres (como se observará en este trabajo). A su vez, las personas necesitan menos energía basal a medida que ganan edad:

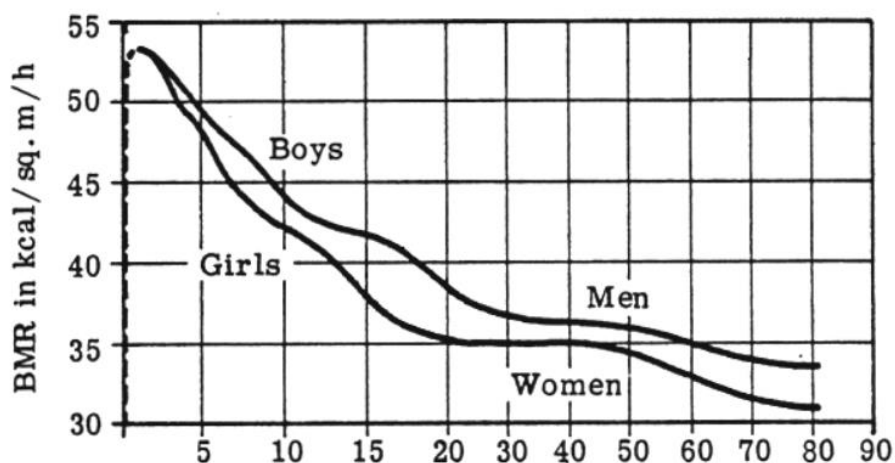


Figura 19: Cambio en Tasa Metabólica según Edad [34]

EL SER HUMANO COMO SISTEMA ENERGÉTICO

A raíz de la investigación llevada a cabo para documentar este proyecto, cabe destacar que la etnia de las personas es señalada por algunos autores como un factor relevante (en [36] hay una recopilación de varios de estos), sin embargo, el escaso número de estudios que lo toman en cuenta hacen que en este trabajo se halla considerado como más seguro no incluirlo en la lista de variables. A modo de predicción de la tasa metabólica basal utilizaremos las ecuaciones de la ONU:

| | Age range (years) | BMR (kJ) (kcal _{th} in parentheses) | r^2 | RSD ^b | |
|------------|----------------------|---|--|------------------|--------------|
| Men | 10–18 | $69.4W + 322.2H + 2\ 392$ (16.6W + 77H + 572) | 0.89 | 418 (100) | |
| | 18–30 | $64.4W - 113.0H + 3\ 000$ (15.4W - 27H + 717) | 0.65 | 632 (151) | |
| | 30–60 | $47.2W + 66.9H + 3\ 769$ (11.3W + 16H + 901) | 0.60 | 686 (164) | |
| | > 60 | $36.8W + 4\ 719.5H - 4\ 481$ (8.8W + 1\ 128H - 1\ 071) | 0.84 | 552 (132) | |
| | Women | 10–18 | $30.9W + 2\ 016.6H + 907$ (7.4W + 482H + 217) | 0.77 | 473 (113) |
| | | 18–30 | $55.6W + 1\ 397.4H + 146$ (13.3W + 334H + 35) | 0.73 | 502 (120) |
| 30–60 | | $36.4W - 104.6H + 3\ 619$ (8.7W - 25H + 865) | 0.70 | 452 (108) | |
| > 60 | | $38.5W + 2\ 665.2H - 1\ 264$ (9.2W + 637H - 302) | 0.82 | 393 (94) | |

Tabla 11: Anexo F

Cuando apliquemos dichas ecuaciones con los correspondientes valores de edad, sexo y peso tendremos la estimación de la tasa metabólica basal para 8 grupos diferenciados. No obstante, para poder realizar estimaciones se utilizará un valor medio poblacional, y para ello hace falta conocer la distribución estadística de dichos grupos o de una simplificación de los mismos para el caso de nuestro escenario futuro. Es por eso que se utilizará la estimación de la ONU para la población global en el año 2100 [38]. En este caso los 8 grupos han sido simplificados a 6 y la distribución resultante se muestra a continuación:

| Sexo/Edad | 0-19 | 20-59 | 60> |
|------------------|-------------|--------------|---------------|
| Femenino | 23.15% | 47.46% | 29.382% |
| Masculino | 24.2% | 49% | 26.78% |

Tabla 12: Distribución Estimada de la Población por Edad para el año 2100 [38]

A continuación, se procederá a calcular los valores para el caso base. El subgrupo de niños conlleva la dificultad adicional de estimar correctamente su peso y altura, dado que son edades en las cuales los parámetros físicos de los niños muestran gran variación de año a año. Como solución, se utilizó la fuente [39], en la cual se detalla los percentiles de altura y peso para niños y niñas según su país de procedencia. Con dichos datos se elaboró una media ponderada utilizando la distribución futura de edades dentro del subgrupo 0-19 [59].. Para el caso de adultos y ancianos se utilizó una media simple entre los dos valores extremos del intervalo pues la variabilidad dentro de dichas poblaciones es menor que en el caso infantil. Se tomaron los datos de la misma fuente [39].

Primer Caso: Población Americana Media Actual

Aplicando las fórmulas los resultados se muestran en la siguiente tabla para los diferentes sectores poblacionales:

| ALTURA (cm) | Edad | | |
|--------------------|-------------|---------|--------|
| Sexo | 0 - 19 | 20 – 59 | ≥ 60 |
| Masculino | 141,21 | 176,65 | 173,97 |
| Femenino | 137,85 | 163,28 | 160,61 |

Tabla 13: Valores Medios de Altura para la Población Americana Actual por Edad [39]

| PESO (kg) | Edad | | |
|------------------|-------------|---------|-------|
| Sexo | 0 - 19 | 20 – 59 | ≥ 60 |
| Masculino | 37,27 | 85,48 | 87,16 |
| Femenino | 34,97 | 71,43 | 72,14 |

Tabla 14: Valores Medios de Peso para la Población Americana Actual por Edad [39]

Segundo Caso: Población Indonesia Media Actual

En el documento [39] se indica que a los niños y a las niñas de Indonesia se les debe comparar usando la tabla de percentiles de los estados unidos 20/3 para que la estimación de estatura se lo más precisa posible. A su vez, el peso de los niños se debe tomar de la tabla para percentil 10 y el de las niñas con la tabla para percentil 20. Siguiendo esas indicaciones, los datos para estatura en las poblaciones adultas indonesias masculinas se tomarán de la tabla de percentiles 20 y para las poblaciones adultas indonesias femeninas se sacarán de la tabla de percentiles 20 estadounidense. Análogamente a los niños, para el peso de las poblaciones adultas masculinas se utilizará el percentil 10 y el percentil 20 para el peso de las poblaciones femeninas. Aplicados dichos criterios los resultados se muestran a continuación:

| ALTURA (cm) | Edad | | |
|--------------------|-------------|---------|--------|
| Sexo | 0 - 19 | 20 – 59 | ≥ 60 |
| Masculino | 136,24 | 170,27 | 167,58 |
| Femenino | 128,44 | 157,18 | 154,6 |

Tabla 15: Valores Medios de Altura para la Población Indonesia Actual por Edad [39]

| PESO (kg) | Edad | | |
|-----------|--------|---------|-------|
| | 0 - 19 | 20 – 59 | ≥ 60 |
| Sexo | | | |
| Masculino | 37,8 | 67,74 | 68,14 |
| Femenino | 30,47 | 59,07 | 59,1 |

Tabla 16: Valores Medios de Peso para la Población Indonesia Actual por Edad [39]

Tercer Caso: Población Tribu Baka Media

En primer lugar se hablará brevemente de las condiciones de las condiciones que rodean a la tribu Baka y que la hacen particular. África es un continente famoso por su diversidad biológica y eso incluye a los seres humanos que ahí residen. De entre todas las tribus africanas los Baka destacaron por su escasa estatura, lo cuál les llevó a ser tratados con desprecio cuando los colonizadores europeos descubrieron de su existencia.

Estudios recientes afirman que la escas estatura de los Baka se debe a una carestía de hormona del crecimiento en relación con otros grupos humanos. Si quisieremos alcanzar la altura media de esta tribu, es posible que valiese con manipular los niveles de dicha hormona durante los años de crecimiento de las nuevas generaciones.

Los datos estadísticos de altura y peso de los habitantes de la tribu Baka son difíciles de encontrar debido a que en la mayoría de los casos viven en poblaciones rurales de países poco desarrollados, como Camerún, Gabón o La República del Centro Africana. En su lugar se utilizará un artículo publicado en la revista Nature llevado a cabo por investigadores del Centro de Investigación epidemiológica y de salud poblacional de la Universidad de Paris-Sur [40].

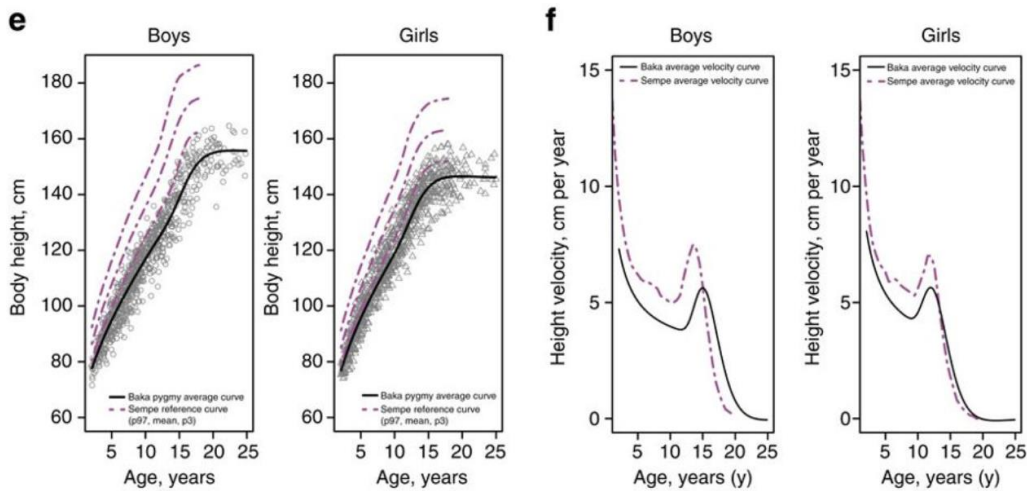


Figura 20: Tablas Masculinas y Femeninas del Crecimiento de las Individuos Baka comparado con la Población Francesa [40]

En este los autores apuntan a varias fórmulas que debidamente parametrizadas sirven para caracterizar la altura y el peso de los Baka a lo largo de su vida. En este trabajo utilizaremos la tercera ecuación descrita:

$$\hat{y}_{ij} = [C_i + D_i t_{ij} + E_i \ln(1 + t_{ij})] (1 - e^{-e^{A_i} - B_i t_{ij}}) + U_i e^{-e^{A_i} - B_i t_{ij}}$$

Dichos parámetros se muestran a continuación:

Para realizar la estimación se siguieron los mismos patrones que en los casos anteriores, esto es, para el caso infantil se realizó una media ponderada según las frecuencias poblacionales estimadas a futuro por la ONU [38] y para los demás casos se realizó una media simple entre casos extremos. Para el dato de adultos entre 20 y 59 años y de más de 60 años se ha utilizado el valor de altura y peso para 19 años que arroja la ecuación multiplicado por un coeficiente. Dicho coeficiente es la relación entre 19 años y los valores de dichos grupos de edad en el caso de Estados Unidos. Se desprenden al suponer que las diferencias relativas entre generaciones son iguales o similares independientemente de a qué población se refiera. En el rango de entre 20 y 59 años masculino el coeficiente de altura es aproximadamente 1 y el

EL SER HUMANO COMO SISTEMA ENERGÉTICO

coeficiente de peso 1,24. En el rango de más de 60 años masculino el coeficiente de altura es 0,985 y el coeficiente de peso aproximadamente 1. En el rango de entre 20 y 59 años femenino el coeficiente de altura es aproximadamente 1 y el coeficiente de peso 1,274 . En el rango de más de 60 años femenino el coeficiente de altura es 0,984 y el coeficiente de peso aproximadamente 1.

| ALTURA (cm) | Edad | | |
|--------------------|-------------|---------|---------|
| Sexo | 0 - 19 | 20 – 59 | ≥ 60 |
| Masculino | 120,2 | 153,9 | 151,552 |
| Femenino | 120,75 | 146,53 | 144,13 |

Tabla 17: Valores Medios de Altura para la Población de la Tribu Baka por Edad [40]

| PESO (kg) | Edad | | |
|------------------|-------------|---------|-------|
| Sexo | 0 - 19 | 20 – 59 | ≥ 60 |
| Masculino | 23,04 | 55,91 | 56,1 |
| Femenino | 24,88 | 55,44 | 55,82 |

Tabla 18. Valores Medios de Peso para la Población de la Tribu Baka por Edad [40]

Cuarto Caso: Población con Acondroplasia Media

El último caso es el de las personas con acondroplasia. Se trata de el origen del 70% de los casos categorizados como enanismo y tiene una incidencia de entre 3 y 7 nacimientos cada 100,000. Tiene una fuerte componente genética, siendo dos mutaciones de un relacionado con la proteína FGFR3 responsables de la mayoría de casos. Según se cree en la actualidad, estas mutaciones hacen que dicha proteína sea más predominante, llevando a cambios en el desarrollo de la estructura ósea. [41]

Como referencia para la elaboración de las tablas de peso se utilizará el trabajo de investigadores de la Universidad John Hopkins, entre otras [42]. Se usarán los datos de percentil 50 para cada edad entre 0 y 18 años para ponderarlos en el caso infantil, como se viene haciendo en los apartados anteriores. Para la estimación de altura se utilizarán las unas tablas de crecimiento disponibles en la página web de la asociación americana de afectados por la acondroplasia [42 y 43].

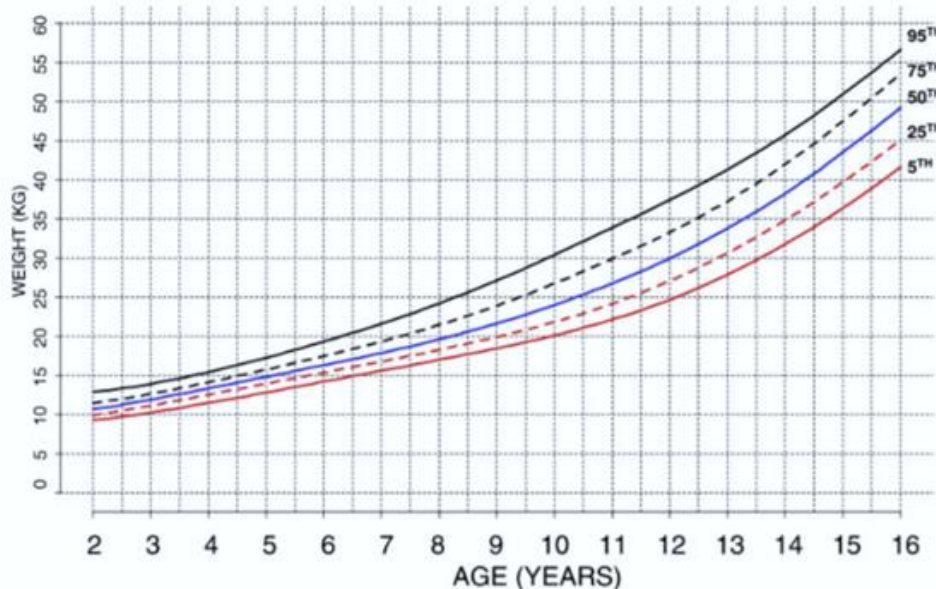


Figura 21: Peso según Edad por Percentiles en el Caso Masculino de Individuos con Acondroplasia [42]

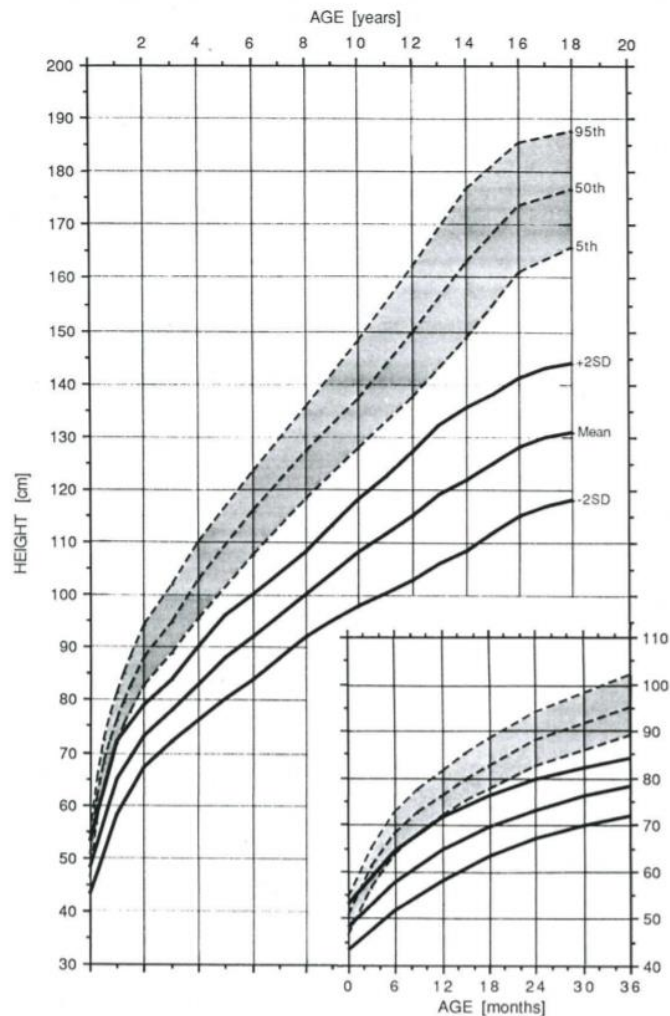


Figura 22: Altura según Edad por Percentiles en el Caso Masculino de Individuos con Acondroplasia Comparado con la Población General [43]

Al igual que en el tercer apartado referido a las medidas propias de la tribu Baka, para los grupos de edad adultos se utilizaron coeficientes con los cuales se asume que las diferencias relativas entre grupos de edad se mantienen entre el caso de estados unidos y los demás. Los coeficientes en este caso serán exactamente los mismos que en el tercer apartado.

| ALTURA (cm) | Edad | | |
|--------------------|-------------|---------|--------|
| Sexo | 0 - 19 | 20 – 59 | ≥ 60 |
| Masculino | 108,18 | 132,407 | 130,24 |
| Femenino | 103,6 | 125,16 | 123,1 |

Tabla 19: Valores Medios de Altura para la Población con Acondroplasia por Edad [42]

| PESO (kg) | Edad | | |
|------------------|-------------|---------|-------|
| Sexo | 0 - 19 | 20 – 59 | ≥ 60 |
| Masculino | 24,69 | 60 | 60,18 |
| Femenino | 25,7 | 64,72 | 65,17 |

Tabla 20: Valores Medios de Peso para la Población con Acondroplasia por Edad [43]

Otras Medidas Coporales

Aparte de la altura y el peso existen otros parámetros que serán útiles a la hora de analizar los efectos que en el consumo energético tiene las dimensiones humanas. Ciertamente, el grosor del cuerpo o la anchura de hombros juegan un papel importante al dimensionar los espacios, pues entre otras cosas están relacionados con la máxima densidad de personas por unidad de área que se puede alcanzar. Otras medidas, como la altura de las rodillas, marcarán la altura de nuestras sillas y mesas.

Como se puede apreciar en el párrafo anterior, la forma y tamaño del ser humano juegan un papel fundamental en la arquitectura. Se recurrirá a libros de esta disciplina académica para responder a algunas de las preguntas que se plantearán en las páginas venideras. Ilustres

arquitectos, como Charles-Édouard Jeanneret, comunmente conocido como Le Corbusier se interesaron por la dimensionalización del ser humano y sus implicaciones en el diseño de espacios habitables. En su libro “Le Modulor” elaboró dos series, la serie azul y la serie roja, las cuales usaban la altura del ser humano o su cota máxima con el brazo extendido para obtener las demás proporciones del cuerpo mediante relaciones con el número áureo. Dichas relaciones no se alejan de la realidad, sin embargo solo se utilizarán como comparación debido a su escaso rigor científico.

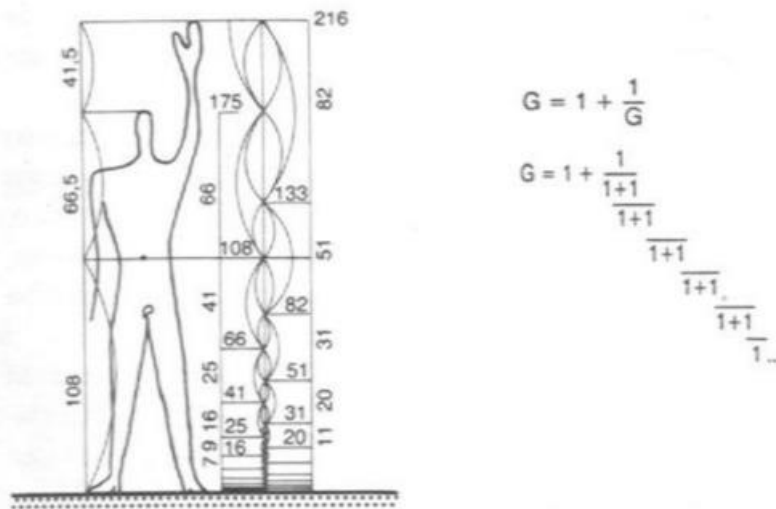


Figura 23: Ilustración del libro ‘Le Modulor’ donde se muestra la relación de las medidas antropométricas con la serie áurea [47]

Para obtener las demás medidas de relevancia usaremos como referencia el libro “Las Dimensiones Humanas en los Espacios Interiores” [44]. Dichas medidas serán la anchura máxima del cuerpo y la profundidad máxima. Escogemos la máxima y no la media porque los espacios interiores se diseñan de tal manera que la persona de mayores dimensiones sea capaz de utilizarlos con comodidad.

En el libro que se toma como base de esta estimación aparecen tablas con percentiles antropométricos. Dichos datos tienen su origen en un estudio a nivel nacional en los Estados Unidos [45]. La forma de proceder en las estimaciones, siempre que sea posible, será la siguiente: se asumirá que las personas están proporcionadas, es decir, se tomará el percentil

de altura como base y este dato se extrapolará a las tablas de percentiles de las demás medidas.

Además, tomaremos se buscarán exclusivamente los datos de un adulto masculino de entre 20 y 59 años, dado que este es el grupo de edad con mayor tamaño en todos los casos y, como se dijo con anterioridad, son los valores máximos los que se utilizan para dimensionar los espacios arquitectónicos. Se utilizó una hoja de Excel para calcular dichos percentiles e interpolar cuando sea necesario.

Anchura y Profundidad Máxima para el Caso Primero

En el caso del tamaño equivalente a un americano actual promedio, la altura se corresponde con el percentil 64,25 de las tablas de altura la fuente [44]. Debido a ello aplicamos el percentil 64,25 a las correspondientes tablas del libro, con las cuales sacamos la anchura máxima del cuerpo: 30,5 cm y la profundidad máxima del cuerpo: 54,5 cm.

Anchura y Profundidad Máxima para el Caso Segundo

En el caso de la población tailandesa, un hombre adulto medio se encuentra en el percentil 27,13 de altura. Siguiendo el proceso anteriormente mencionado, tendrá una profundidad corporal de 27,5 cm y una anchura corporal de 50,28 cm.

Anchura y Profundidad Máxima para el Caso Tercero

En este caso la metodología anterior nos falla. Debido a la escasa estatura de el adulto de la tribu Baka, si calculamos el percentil mediante interpolación obtenemos un resultado negativo. Así pues, se opta por ser conservador y tomaremos los datos del percentil 1, el más pequeño disponible, aún sabiendo que nos arrojará unos valores algo mayores a la realidad.

Con este procedimiento la profundidad máxima obtenida es de 25,4 cm y la anchura máxima del cuerpo es de 47,4 cm.

Anchura y Profundidad Máxima para el Caso Cuarto

Debido a que en el caso anterior ya agotamos el rango de percentiles disponibles en la tabla la forma de proceder para realizar esta estimación será simplemente tomar el ratio entre las alturas de los casos 3 y 4 y suponer que el resto de medidas disminuyen de forma lineal proporcionalmente a dicho ratio. La relación de alturas es de 0,86 y nos queda una profundidad máxima del cuerpo de 21,8 cm y una anchura máxima de 40,7 cm.

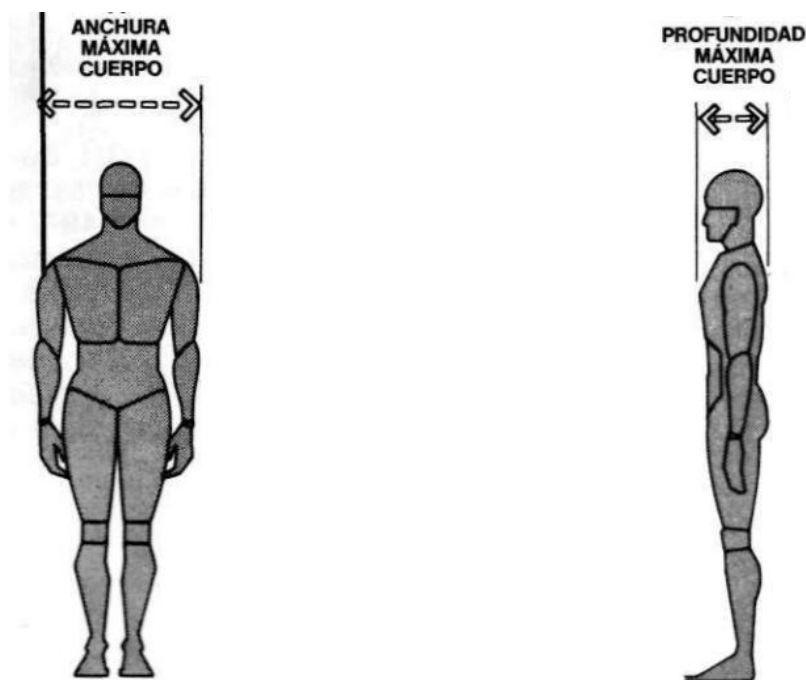


Figura 24: Ilustraciones del libro “Las Dimensiones Humanas en Los Espacios Interiores” [44]

Capítulo 4. PARAMETRIZACIÓN SEGÚN TAMAÑO

En este apartado utilizaremos las estimaciones del Capítulo 2: Creación del Modelo de Proyecciones Futuras y las medidas obtenidas en el Capítulo 3: Parametrización Según Tamaño para estudiar el potencial impacto del tamaño del ser humano en la viabilidad ecológica a largo plazo.

4.1 CONSUMO DE ALIMENTOS

El consumo de alimentos está directamente relacionado con la tasa metabólica en reposo y para su cálculo recurriremos a las ecuaciones de la ONU expuestas en el Capítulo 3 [46]. Debido a que se decidió combinar dos categorías para formar el rango de edad 19-59, los valores de este se tomarán de una media simple utilizando las ecuaciones de las dos subcategorías que la forman.

A continuación, se exponen en forma de tabla los valores obtenidos para cada uno de los casos:

| Caso Primero Tamaño Americano Medio (kcal) | | | |
|---|---------|---------|---------|
| Sexo | 0-18 | 19-59 | >60 |
| Masculino | 1.298,7 | 1.940,4 | 1.658,4 |
| Femenino | 1.140,2 | 1.488 | 1.384,8 |

Tabla 21: Cálculos del Consumo Metabólico Base para Población Estadounidense Actual por Edades [46]

| Caso Segundo Tamaño Indonesia Medio (kcal) | | | |
|---|---------|---------|---------|
| Sexo | 0-18 | 19-59 | >60 |
| Masculino | 1.304,4 | 1.704 | 1.419 |
| Femenino | 1.061,6 | 1.342,5 | 1.226,6 |

Tabla 22: Cálculos del Consumo Metabólico Base para Población Indonesia Actual por Edades [46]

| Caso Tercero Tamaño Tribu Baka Medio (kcal) | | | |
|--|-------|---------|---------|
| Sexo | 0-18 | 19-59 | >60 |
| Masculino | 1.047 | 1.547 | 1.132,2 |
| Femenino | 983 | 1.286,2 | 1.102 |

Tabla 23: Cálculos del Consumo Metabólico Base para Población de la Tribu Baka por Edades [46]

| Caso Cuarto Tamaño Acondroplasia Medio (kcal) | | | |
|--|---------|---------|---------|
| Sexo | 0-18 | 19-59 | >60 |
| Masculino | 1.065,1 | 1.602,7 | 927,7 |
| Femenino | 906,5 | 1.355,3 | 1.081,7 |

Tabla 24: Cálculos del Consumo Metabólico Base para Población con Acondroplasia por Edades [46]

Para poder tomar conclusiones será fundamental calcular la relación entre el caso base de los Estados Unidos y el resto de los escenarios en todos los rangos de edad. Con el propósito de hacer esto de forma clara y visual se adjunta la siguiente tabla:

| | 0-18 | 19-59 | >60 |
|-----------------------------|-------------|--------------|---------------|
| CASO 2 MASCULINO | 100,44% | 87,81% | 85,56% |
| CASO 2 FEMENINO | 93,1% | 90,22% | 88,58% |
| CASO 3 MASCULINO | 80,62% | 79,72% | 68,26% |
| CASO 3 FEMENINO | 86,22% | 86,44% | 79,59% |
| CASO 4 MASCULINO | 82,02% | 82,59% | 55,93% |
| CASO 4 FEMENINO | 79,5% | 91,08% | 78,11% |

Tabla 25: Tabla Comparativa para Cada Caso con Respecto al Escenario Base por Edades y Sexos

Una vez obtenidos dichos coeficientes se calculará la media ponderada de cada caso para poder comparar las diferentes situaciones entre sí. Para ello se utilizará la tabla 12 mostrada con anterioridad en la que se exponen las diferentes frecuencias estadísticas por grupo de edad estimadas por la ONU para el año 2100. Para una mayor precisión de los cálculos tendremos en cuenta la distinción entre población masculina y femenina según las estimaciones futuras de la ONU para el año 2100. Esto se traduce en que para hacer la media poblacional ponderaremos nuevamente con un coeficiente de 0,4879 para el caso masculino y de un 0,51207 para el caso femenino.

Cálculo Tasa Metabólica Caso Base Masculino =

$$= 0.242 \times 1298,68 + 0.49 \times 1940,38 + 0.2678 \times 1658,42 = 1.709,19 \text{ Kcal día}$$

Cálculo Tasa Metabólica Caso Base Femenino =

$$0.231 \times 1140,22 + 0.4746 \times 1488 + 0.286 \times 1384,77 = 1.365,63 \text{ Kcal día}$$

Por lo tanto, la media de consumo del caso base queda como 1.533,2 Kcal/día

Cálculo Tasa Metabólica Caso Segundo Masculino =

$$= 0.242 \times 1304,38 + 0.49 \times 1703,96 + 0.2678 \times 1418,93 = 1.530,59 \text{ Kcal dia}$$

Cálculo Tasa Metabólica Caso Segundo Femenino =

$$= 0.231 \times 1061,56 + 0.4746 \times 1342,49 + 0.286 \times 1226,58 = 1.233,2 \text{ Kcal día}$$

De este modo, obtenemos que la media poblacional para el caso segundo será de 1.378,3 Kcal/día.

Cálculo Tasa Metabólica Caso Tercero Masculino =

$$= 0.242 \times 1047 + 0.49 \times 1546,94 + 0.2678 \times 1132,19 = 1.314,58 \text{ Kcal/dia}$$

Cálculo Tasa Metabólica Caso Tercero Femenino =

$$= 0.231 \times 983,13 + 0.4746 \times 1286,29 + 0.286 \times 1102,08 = 1.152,77 \text{ Kcal día}$$

Para el tercer caso la tasa metabólica media poblacional que se obtiene es de 1.231,7 Kcal/día.

Cálculo Tasa Metabólica Caso Cuarto Masculino =

$$= 0.242 \times 1065,14 + 0.49 \times 1602,71 + 0.2678 \times 927,69 = 1.291,53 \text{ Kcal/dia}$$

Cálculo Tasa Metabólica Caso Cuarto Femenino =

$$= 0.231 \times 906,53 + 0.4746 \times 1355,28 + 0.286 \times 1081,75 = 1.162 \text{ Kcal día}$$

El resultado obtenido para el consumo metabólico basal en el caso cuarto correspondiente a las personas con acondroplasia es de 1.225,2 Kcal/día.

Las relaciones entre el consumo de alimentos serán por lo tanto las siguientes:

-El segundo caso supondría una reducción del 10,1%.

-El tercer caso supondría una reducción del 19,66 %.

-El cuarto caso supondría una reducción del 20,1 %.

Esto impactaría de forma directa el mercado mundial de producción de alimentos. Utilizando los valores del apartado Situación Actual de los Estados Unidos en la siguiente tabla se muestra la variación que tendría lugar y cómo quedaría la producción respecto de la estimación original:

| CASO SEGUNDO | | |
|-------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| Tipo de Alimento | Nueva Producción (Mt) | Variación Respecto a Base |
| Verduras | 4.010,439 | 504,94% |
| Frutas | 1.364,2325 | 248,23% |
| Cereales | 1.348,5 | 123,64% |
| Productos Lácteos | 2.788,698 | 366,51% |
| Productos Proteicos | 4.937,308 | 953,61% |

Tabla 26: Variación Futura en el Consumo de Alimentos para el Caso Segundo

| CASO TERCERO | | |
|-------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| Tipo de Alimento | Nueva Producción (Mt) | Variación Respecto a Base |
| Verduras | 3.584 | 451,25% |
| Frutas | 1.219,2 | 221,83% |
| Cereales | 1.205,1 | 110,49% |
| Productos Lácteos | 2.492,1 | 327,54% |
| Productos Proteicos | 4.412,3 | 852,2% |

Tabla 27: Variación Futura en el Consumo de Alimentos para el Caso Tercero

| CASO CUARTO | | |
|-------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| Tipo de Alimento | Nueva Producción (Mt) | Variación Respecto a Base |
| Verduras | 3.564,3 | 448,77% |
| Frutas | 1.212,5 | 220,61% |
| Cereales | 1.198,5 | 109,9% |
| Productos Lácteos | 2.478,5 | 325,74% |
| Productos Proteicos | 4.388,1 | 847,54% |

Tabla 28: Variación Futura en el Consumo de Alimentos para el Caso Cuarto

4.2 CONSUMO DE AGUA

Desde un primer instante una idea intuitiva nos indica que el tamaño es fundamental en la cantidad de agua que necesitamos para sobrevivir. Un elevado porcentaje de nuestro cuerpo, aproximadamente un 60% de nuestro peso [47], está compuesto por agua y este se debe mantener aproximadamente constante para el correcto funcionamiento del organismo. El agua se pierde en procesos corporales, entre ellos orinar y sudar, ambos ligados al tamaño. En el caso de la evaporación esta tiene lugar en la superficie del cuerpo y a mayor tamaño mayor superficie.

Esto se confirma al observar que el agua consumida está relacionada con las kcal necesarias, es decir, con el metabolismo basal [48]. El National Research Council Americano considera que 1 ml/kcal es lo recomendable para un adulto, aunque factores externos, tales como la humedad o la temperatura, pueden afectar dicho valor. Un estudio a nivel nacional llevado a cabo en Alemania con 2.000 sujetos apoya dichas ideas, habiendo encontrado como apropiados un valor de 1,01 ml de agua por kcal para hombres adultos y 1,06 ml por kcal para mujeres. En caso de realizar ejercicio este valor puede aumentar hasta los 1,5 ml por kcal.

Por lo tanto, conocidas las calorías medias de cada caso del cálculo del apartado anterior se puede trazar una relación directa con el consumo de alimentos de cada caso usando los parámetros de mililitros por kilocaloría. Nuevamente se tendrá en cuenta la frecuencia relativa de las futuras poblaciones masculina y femenina, 48,79% y 51,21% respectivamente:

Cálculo Consumo de Agua Caso Base =

$$= 1,01 \times 0,4879 \times 1.709,19 + 1,06 \times 0,5121 \times 1.365,63 = 1.583,5 \text{ mililitros/día}$$

Cálculo Consumo de Agua Caso Segundo =

$$= 1,01 \times 0,4879 \times 1.530,59 + 1,06 \times 0,5121 \times 1.233,2 = 1.423,7 \text{ mililitros/día}$$

Cálculo Consumo de Agua Caso Tercero =

$$= 1,01 \times 0,4879 \times 1314,58 + 1,06 \times 0,5121 \times 1.152,77 = 1.273,55 \text{ mililitros/día}$$

Cálculo Consumo de Agua Caso Cuarto =

$$= 1,01 \times 0,4879 \times 1.291,53 + 1,06 \times 0,5121 \times 1.162 = 1.261,91 \text{ mililitros/día}$$

Las necesidades de cada ser humano se verían reducida de la siguiente manera:

- En una población con características de un indonesio promedio la variación es de un 10,1%.
- En una población con características de un habitante Baka la reducción es de un 19,57%.
- En una población con características de una persona con acondroplasia promedio la reducción es de un 20,3%.

Como se puede observar los resultados son muy similares a los obtenidos en el apartado anterior debido a que los coeficientes eran a penas un 1% y un 6% diferentes a la unidad y han variado el porcentaje en torno a un 3,5%.

Sin embargo, el caso del agua para consumo humano es una fracción pequeña del total de agua extraída. Siguiendo el diagrama del LLNL [Anexo B], el agua consumida en el interior de las viviendas apenas representa un 4,96% del total. En contraposición, la agricultura es el mayor sector de consumo de agua. La ONU estima que en este sector se invierte el 70% del agua extraída en el mundo [49] y si se llevan a cabo los cálculos para el estado de California con los datos del LLNL [Anexo B] arroja un resultado del 69,39%.

Dada esta circunstancia el principal beneficio de la reducción de tamaño en el consumo de agua será en la manera en la que disminuye el agua destinada al sector primario. Utilizando la tabla de alimentos producidos para cada uno de los casos se estimará la reducción de consumo de agua para la agricultura. Para esto se tendrá en cuenta el consumo de agua relativo a cada tipo de alimento.

| PRODUCT | QUANTITY | WATER USE EQUIVALENT IN SHOWER MINUTES | |
|----------------|-------------|--|----------------|
| | | MINUTES | SHOWER MINUTES |
| Beer | 8 oz/240 ml | 4 | 4 |
| Tomato | 1 lb/455 g | 5 | 5 |
| Wine | 4 oz/120 ml | 6 | 6 |
| Milk | 8 oz/240 ml | 6 | 6 |
| Potato | 1 lb/455 g | 7 | 7 |
| Egg | 1 egg | 11 | 11 |
| Banana | 1 lb/455 g | 42 | 42 |
| Apple | 1 lb/455 g | 43 | 43 |
| Pasta, dry | 1 lb/455 g | 44 | 44 |
| Rice, white | 1 lb/455 g | 60 | 60 |
| Personal pizza | 26 oz/735 g | 67 | 67 |
| Chocolate | 4 oz/115 g | 90 | 90 |
| Chicken | 1 lb/455 g | 104 | 104 |
| Cheese | 1 lb/455 g | 122 | 122 |
| Pork | 1 lb/455 g | 144 | 144 |
| Beef | 1 lb/455 g | 370 | 370 |

Figura 25: Consumo de Agua de cada Alimento Representado en Minutos de Ducha de 19 L cada uno [6]

Como se puede observar, el consumo de carne de vacuno es especialmente intensivo en consumo de agua y una reducción en ese campo sería muy eficaz para reducir el problema hídrico. Sin embargo, en el modelo de este proyecto se asume que los hábitos alimenticios no se modificarán, sino que el consumo de cada partida de alimentos se reduce proporcionalmente con la tasa metabólica base. Es por ello que, aún consumiendo la carne de vacuno una porción del agua mayor que la fruta en el agua destinado al sector primario, ambas partidas se reducirán en el mismo porcentaje. Si cada partida individual se reduce en el mismo porcentaje esto equivale a reducir el total por ese mismo porcentaje. Utilizando los coeficientes del apartado anterior de Consumo de Alimentos, se muestra en la siguiente tabla cómo se reduciría el consumo en cada uno de los casos planteados, sabiendo por el Capítulo 2 Creación del Modelo de Proyecciones Futuras que el agua para consumo humano representa el 0,31% del total [50] y el agua para el sector primario el 69,39%:

| | Reducción Consumo Humano (%) | Reducción Consumo Sec. Primario (%) | Reducción Total (%) |
|--------------|-------------------------------------|--|----------------------------|
| Caso Segundo | 10,1 | 10,1 | 7,04 |
| Caso Tercero | 19,66 | 19,57 | 13,64 |
| Caso Cuarto | 20,1 | 20,3 | 14,15 |

Tabla 29: Cambio en el Consumo de Agua según Escenario de Reducción de Tamaño

4.3 SECTOR RESIDENCIAL

Como se mencionó en el Capítulo 3: El Ser Humano Como Sistema Energético, las medidas de las viviendas no son arbitrarias. Las medidas de altura, anchura o la disposición de las habitaciones han coevolucionado junto a nosotros para dar respuesta a nuestras necesidades. Cuando un arquitecto diseña un espacio residencial tiene muy en cuenta la funcionalidad de la vivienda a parte de sus características estéticas.

En este apartado razonaremos sobre cómo se traduciría un cambio en las medidas físicas del ser humano en los entornos que reside. Una disminución en las dimensiones de la casa promedio tendrían un efecto drástico en el consumo global. A menor tamaño de los hogares menor superficie y menores pérdidas térmicas con el mismo nivel de aislamiento. Además, menor tamaño significaría menor demanda de materiales de construcción, lo cuál tendría un impacto en otros sectores como por ejemplo el sector transporte.

Para calcular las nuevas medidas del hogar promedio utilizaremos como base el modelo creado en el Capítulo 2 apartado del Sector Residencial para el caso de los Estados Unidos. Se asumirá que las dimensiones de la vivienda típica están directamente relacionadas con las medidas del habitante promedio. Para estimar el efecto se utilizarán los datos de altura, anchura y profundidad calculados previamente por casos en el Capítulo 3: El Ser Humano Como Sistema Energético.

Caso Segundo Tamaño Medio Habitante Indonesia

Para elaborar los cálculos se empezará determinando los ratios entre las medidas del caso base y las medidas del caso segundo.

| Ratios Dimensiones Respecto a Caso Base | |
|--|-----------------------|
| Altura | 170,29/176,65 = 0,964 |
| Profundidad | 27,5/30,5=0,902 |
| Anchura | 50,3/54,45=0,924 |

Tabla 30: Relación De Dimensiones entre el Segundo Caso y el Caso Base

A partir de dichas relaciones y siguiendo el procedimiento del caso base calcularemos las medidas de área y volumen:

El nuevo área del suelo se verá reducida por el ratio de anchura y profundidad del cuerpo. Esto se debe a que cada dirección perpendicular del suelo se verá reducida por una dimensión perpendicular humana.

$$A_{planta} = 194,896 \times 0,902 \times 0,924 = 162,44 \text{ m}^2$$

Para poder comparar los diferentes casos del modelo consideraremos que la nueva casa promedio sigue teniendo una base cuadrada. El lado por lo tanto corresponde a la raíz cuadrada del área, quedándonos 12,745 m.

La nueva altura requerida vendrá determinada por el ratio entre estaturas.

$$Altura = 2,5 \times 0,964 = 2,41 \text{ m}$$

$$A_{lateral} = 4 \times 12,745 \times 2,41 = 122,86 \text{ m}^2$$

$$A_{total} = A_{lateral} + A_{planta} = 122,86 + 162,44 = 285,3 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} Volumen &= (162,44 - (12,745 - 0,15 \times 2)^2) \times 2,41 + 162,44 \times 0,3 = \\ &= 18,22 + 48,732 = 66,95 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Caso Tercero Tamaño Medio Tribu Baka

Se utilizará la misma metodología del apartado anterior.

| Ratios Dimensiones Respecto Caso Base | |
|--|-------------------------|
| Altura | $153,86/176,65 = 0,871$ |
| Profundidad | $25,37/30,5=0,832$ |
| Anchura | $47,35/54,45=0,87$ |

Tabla 31: Relación De Dimensiones entre el Tercer Caso y el Caso Base

$$A_{planta} = 194,896 \times 0,832 \times 0,87 = 141,07 \text{ m}^2$$

El lado nuevamente será la raíz cuadrada, arrojando un valor de 11,88 m.

$$Altura = 2,5 \times 0,871 = 2,18 \text{ m}$$

$$A_{lateral} = 4 \times 11,88 \times 2,18 = 103,59 \text{ m}^2$$

$$A_{total} = A_{lateral} + A_{planta} = 103,59 + 141,07 = 244,66 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} Volumen &= (141,07 - (11,88 - 0,15 \times 2)^2) \times 2,18 + 141,07 \times 0,3 = \\ &= 15,2 + 42,32 = 57,52 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Caso Cuarto Tamaño Medio Acondroplasia

| Ratios Dimensiones Respecto Caso Base | |
|--|---------------------|
| Altura | 132,4/176,65 = 0,75 |
| Profundidad | 21,8/30,5=0,715 |
| Anchura | 40,7/54,45=0,747 |

Tabla 32: Relación De Dimensiones entre el Cuarto Caso y el Caso Base

$$A_{planta} = 194,896 \times 0,715 \times 0,747 = 104,1 \text{ m}^2$$

El lado nuevamente será la raíz cuadrada, arrojando un valor de 10,2 m.

$$Altura = 2,5 \times 0,75 = 1,875 \text{ m}$$

$$A_{lateral} = 4 \times 10,2 \times 1,875 = 76,5 \text{ m}^2$$

$$A_{total} = A_{lateral} + A_{planta} = 76,5 + 104,1 = 180,6 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} Volumen &= (104,07 - (10,2 - 0,15 \times 2)^2) \times 1,875 + 104,1 \times 0,3 = \\ &= 11,36 + 31,23 = 42,59 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

A continuación, se muestra una tabla comparativa de la medida en la que se reducirían el área exterior y el volumen para cada uno de los pasos propuestos:

| CASOS | SEGUNDO | TERCERO | CUARTO |
|--------------------------------|---------|---------|--------|
| Área (m ²) | 285,3 | 244,66 | 180,6 |
| Variación Área (%) | 85,3% | 73,14% | 54% |
| Volumen (m ³) | 66,95 | 57,52 | 42,59 |
| Var. Volumen (m ³) | 84,51% | 72,6% | 53,76% |

Tabla 33: Comparativa Reducción de Área y Volumen Sector Residencial según Caso

Sin embargo, para aproximar el consumo de recursos destinados a calefacción no basta con tener en cuenta de área media. Nótese que esto solo sería el caso de las casas unifamiliares. En los edificios de viviendas multifamiliares hay paredes que son comunes a dos viviendas, como sucede a su vez con el techo. Para aproximar el verdadero cálculo de calefacción tomaremos el dato de viviendas unifamiliares que mencionamos en el Capítulo 2: Creación del Modelo de Proyecciones Futuras. Por otro lado, se optará por una aproximación conservadora, tomando que el resto de viviendas tan solo tienen una pared no compartida. De este modo las paredes compartidas se contabilizarán como de gasto cero a efectos de calefacción. El cálculo resultante para cada caso se muestra a continuación.

Cálculo ahorro caso Indonesia

$$\begin{aligned}
 &= \text{Porcentaje casas unifamiliares} \times \text{Porcentaje reducción}_{Indonesia} \\
 &+ \text{Porcentaje pared expuesta} \times \text{Porcentaje reducción}_{Indonesia} \times \text{Porcentaje casas multifam} \\
 &+ \text{Porcentaje pared no expuesta} \times \text{Porcentaje casas multimailiares} \times 1 \\
 &= 67,24 \times 0,853 + \frac{A_{lateral} \times 0,25}{A_{total Indo}} \times 0,853 \times 32,76 + \left(1 - \frac{A_{lateral} \times 0,25}{A_{total Indo}}\right) \times 32,76 \\
 &= 57,36 + 0,107 \times 27,94 + 0,893 \times 32,76 = 57,36 + 2,99 + 29,25 = 89,6\%
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, en el caso de Indonesia al construir las casas al tamaño local análogamente a como se hace en Estados Unidos se podría ahorrar un 10,4% en climatización debido a la reducción de área de las viviendas.

Cálculo ahorro caso Baka

$$\begin{aligned}
 &= \text{Porcentaje casas unifamiliares} \times \text{Porcentaje reducción}_{Baka} \\
 &+ \text{Porcentaje pared expuesta} \times \text{Porcentaje reducción}_{Baka} \times \text{Porcentaje casas multifam} \\
 &+ \text{Porcentaje pared no expuesta} \times \text{Porcentaje casas multimailiares} \times 1 \\
 &= 67,24 \times 0,7314 + \frac{A_{lateral} \times 0,25}{A_{total Baka}} \times 0,7314 \times 32,76 + \left(1 - \frac{A_{lateral} \times 0,25}{A_{total Baka}}\right) \times 32,76 \\
 &= 49,18 + 0,106 \times 23,96 + 0,894 \times 32,76 = 49,18 + 2,54 + 29,29 = 81\%
 \end{aligned}$$

El tercer caso podría suponer un 19% de reducción en gasto residencial de climatización debido a la reducción del espacio habitable en las viviendas.

Cálculo ahorro caso Acondroplasia

$$\begin{aligned}
 &= \text{Porcentaje casas unifamiliares} \times \text{Porcentaje reducción}_{Baka} \\
 &+ \text{Porcentaje pared expuesta} \times \text{Porcentaje reducción}_{Baka} \times \text{Porcentaje casas multifam} \\
 &+ \text{Porcentaje pared no expuesta} \times \text{Porcentaje casas multimailiares} \times 1 \\
 &= 67,24 \times 0,54 + \frac{A_{lateral} \times 0,25}{A_{total Baka}} \times 0,54 \times 32,76 + \left(1 - \frac{A_{lateral} \times 0,25}{A_{total Baka}}\right) \times 32,76 \\
 &= 36,3 + 0,106 \times 17,69 + 0,894 \times 32,76 = 36,3 + 1,875 + 29,29 = 67,47\%
 \end{aligned}$$

En el caso cuarto para unas dimensiones propias de una persona con acondroplasia el ahorro potencial en la climatización residencial sería del 32,53%.

Con respecto al impacto del volumen de materiales de construcción, como dato el 40% de los materiales de construcción extraídos en EE. UU. tuvieron como destino el sector residencial [90]. Se puede calcular el consumo aproximado de recursos en el sector de la construcción por los efectos de la reducción de tamaño. Los cálculos y resultados se indican a continuación:

$$\begin{aligned}
 &\text{Reducción materiales de construcción Caso Indonesia} = \\
 &= 40 \times 0,8451 + 60 = 93,8\%
 \end{aligned}$$

Se daría una reducción del 6,2% en los materiales utilizados en el sector de la construcción.

Reducción materiales de construcción Caso Tribu Baka =

$$= 40 \times 0,726 + 60 = 89,04\%$$

Se daría una reducción del 10,96% en los materiales utilizados en el sector de la construcción.

Reducción materiales de construcción Caso Acondroplasia =

$$= 40 \times 0,5376 + 60 = 81,5\%$$

Se daría una reducción del 18,5% en los materiales utilizados en el sector de la construcción.

4.4 SECTOR ELÉCTRICO

Como se indicó en el apartado de Situación Actual de los Estados Unidos, el consumo del sector eléctrico se puede dividir según su uso en tres grandes categorías: residencial, comercial e industrial. La reducción de tamaño tendría implicaciones en cada uno de estos tres sectores.

En el sector eléctrico residencial encontramos las partidas de calentamiento de espacios y de enfriamiento de espacios los cuales representan un 3,46% y un 6,65% del consumo eléctrico total según lo calculado en el Capítulo 2: Creación del Modelo de Proyecciones Futuras. El calentamiento de agua sería otro posible campo donde se podría encontrar alguna reducción, si bien no se ha encontrado ninguna evidencia de que menor tamaño, estatura o peso lleven a menor tiempo de ducha por ejemplo. Dado que la mayoría de población se ducha y no se baña y una ducha conlleva un mayor gasto de agua no contemplaremos la reducción de gasto de agua en duchas.

Siguiendo los parámetros obtenidos en el apartado del sector residencial, la reducción en estos dos sectores será del 10,4% en el caso indonesio, del 19% en el caso de la tribu Baka y del 32,53% en el caso de personas con acondroplasia.

En el sector comercial hay una partida de refrigeración que consume el 5,11% del total de la electricidad en Estados Unidos. Dado que el uso mayoritario de dicha partida es refrigerar alimentos para consumo humano, aproximaremos la reducción de consumo eléctrico por el porcentaje de reducción de alimentos de cada caso. Esto se trata tan solo de una aproximación, si bien guarda cierta validez dado que si cada partida se reduce en un porcentaje el total se reduciría en ese mismo porcentaje. El valor depende en realidad del calor específico de los alimentos y de la masa conservada de cada tipo de alimentos, valores que no son los mismos para los diferentes tipos de comida.

Recordando los resultados del apartado de alimentos del Capítulo 4: Parametrización según Tamaño, la reducción de alimentos para el caso segundo tamaño indonesio medio es de un 10,1%, para el tercer caso de un 19,57% y para el cuarto caso de un 20,3%.

En el sector industrial se consume el 25,31 % de la energía en forma eléctrica [Anexo A]. Dentro de las principales industrias de Estados Unidos destacan para nuestros motivos la industria de refinería, muy ligada al consumo de combustibles fósiles, la industria minera, muy ligada a la construcción y la industria de procesado de comida, relacionada con el flujo de alimentos que consume una sociedad. La industria de la construcción y de la agricultura también se verán muy afectadas. [52]

La industria textil y otras industrias de consumo masivo se verían sin lugar a dudas afectadas por la reducción de tamaño, si bien cuantificar dichos cambios queda fuera del alcance de este proyecto y se incluirá en el apartado de trabajos futuros. [52].

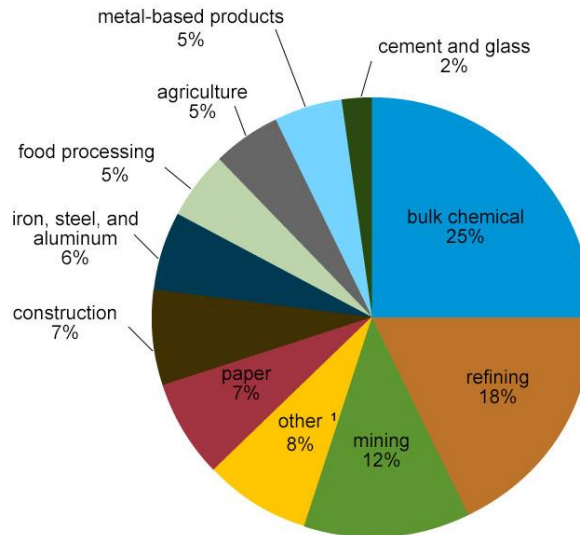


Figura 26: Consumo Energético de la Industria en EE. UU. en el Año 2016 [53]

Para cuantificar el impacto de cada sector industrial en el consumo eléctrico total se usará como referencia un estudio de la EIA americana sobre el consumo energético de la industria a nivel mundial. Se utilizarán los datos de la OCDE ya que son más próximos a la realidad de EE. UU. actual que el total mundial o los países no OCDE.

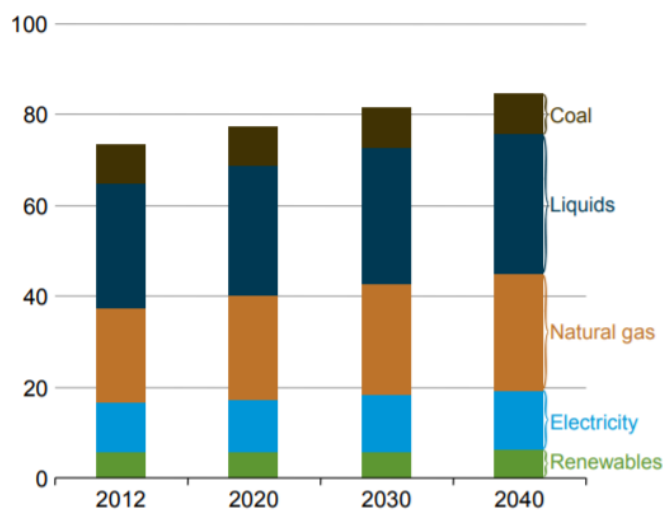


Figura 27: Consumo Energético del Sector Industrial en la OCDE por Fuente Energética

El consumo de electricidad está dividido en electricidad por medios tradicionales, con un impacto de emisiones contaminantes, y por medios renovables. El porcentaje de energía eléctrica consumida para el año 2012 en el sector industrial es de un 22,65%, un 14,87% no renovable y un 7,78% renovable [53]. Consideraremos que cada uno de los subgrupos industriales consumen energía eléctrica en la misma proporción dado que se trata de la aproximación más cercana de la cual se dispone. Esta diferenciación del consumo eléctrico se debe a acuerdos individuales de empresas para funcionar de forma sostenible. En este modelo se tomarán los datos de electricidad renovable de EE. UU. en vez de estos datos de la OCDE puesto que es muy dependiente de la red eléctrica nacional en cada caso.

Como se verá más adelante en el apartado de transporte, el tamaño disminuirá el consumo de combustibles fósiles según el caso. Los coeficientes se muestran en la Tabla 35. Esta disminución se debe a que será posible disminuir los vehículos, disminuyendo su área frontal, disminuyendo a su vez la parte del consumo relacionado con la resistencia aerodinámica. Esto tendrá una consecuencia en la actividad de las refinerías que consumen el 18% de la electricidad utilizada en el sector industrial [54]. Se supondrá que la producción y el consumo eléctrico están directamente proporcionados.

La industria minera supone el 12% del consumo eléctrico en industria [52]. Por lo tanto, supone un 3,04% del consumo total en electricidad. El sector de la construcción consume el 7% de toda la energía suministrada a la industria. Su consumo eléctrico se corresponde al 1,77% del total. Para estos dos sectores se utilizarán los coeficientes de la tabla 33 en la cual se daba la reducción en el uso de materiales de construcción según el caso correspondiente. El 4,81% del consumo eléctrico estará sujeto a dichas coeficientes.

La industria agraria y la industria del procesado de comida consumen ambas un 5% de la energía que se destina a la industria en Estados Unidos. Siguiendo la aproximación usada con anterioridad esto se traduce en un 2,53% del consumo total eléctrico entre los dos. En estas dos industrias podemos asumir que su consumo energético se reducirá proporcionalmente a la disminución del consumo de alimentos que calculamos anteriormente en este mismo capítulo (Capítulo 4: Parametrización Según Tamaño).

A continuación, se procederá a calcular el efecto de todas las variaciones anteriormente mencionadas en el consumo global del sector eléctrico futuro:

Reducción Caso Tamaño Indonesia =

$$\begin{aligned}
 & \%Sector_{es\ sinvariacion} x 1 + \%Sector_N x Coeficiente\ reducción_N = \\
 & \%Sector_{es\ sinvariacion} x 1 + (Sector_{calef-residencial} + Sector_{enfri-residencial}) x 0,896 + \\
 & +(Sector_{refrig-comercial} + Sector_{agrario} + Sector_{procesado\ alimentos}) x 0,899 \\
 & +Sector_{refineria} x 0,9126 + (Sector_{mineria} + Sector_{construcción}) x 0,938 = \\
 & 72,88 x 1 + (3,46 + 6,65) x 0,896 + (5,11 + 1,265 + 1,265) x 0,899 + \\
 & +(4,56) x 0,9126 + (3,04 + 1,77) x 0,938 = \\
 & = 72,88 + 9,06 + 6,87 + 4,16 + 4,51 = 97,48\%
 \end{aligned}$$

El resultado de la reducción de tamaño será una disminución en el consumo eléctrico del 2,52% para el caso segundo correspondiente a un tamaño medio similar al de Indonesia.

Reducción Caso Tamaño Tribu Baka =

$$\begin{aligned}
 & \%Sector_{es\ sinvariacion} x 1 + \%Sector_N x Coeficiente\ reducción_N = \\
 & \%Sector_{es\ sinvariacion} x 1 + (Sector_{calef-residencial} + Sector_{enfri-residencial}) x 0,81 + \\
 & +(Sector_{refrig-comercial} + Sector_{agrario} + Sector_{procesado\ alimentos}) x 0,804 \\
 & +Sector_{refineria} x 0,806 + (Sector_{mineria} + Sector_{construcción}) x 0,89 = \\
 & 72,88 x 1 + (3,46 + 6,65) x 0,81 + (5,11 + 1,265 + 1,265) x 0,804 + \\
 & +(4,56) x 0,806 + (3,04 + 1,77) x 0,89 =
 \end{aligned}$$

$$= 72,88 + 8,19 + 6,14 + 3,68 + 4,28 = 95,17\%$$

El resultado de la reducción de tamaño será una disminución en el consumo eléctrico del 4,83% para el caso tercero correspondiente a un tamaño medio similar al de la tribu Baka.

Reducción Caso Tamaño Acondroplasia =

$$\begin{aligned} & \%Sector_{sinvariacion} x 1 + \%Sector_N x Coeficiente\ reducci\o{n}_N = \\ & \%Sector_{sinvariacion} x 1 + (Sector_{calef-residencial} + Sector_{enfri-residencial}) x 0,675 + \\ & +(Sector_{refrig-comercial} + Sector_{agrario} + Sector_{procesado\ alimentos}) x 0,797 \\ & + Sector_{refineria} x 0,6482 + (Sector_{mineria} + Sector_{construcci\o{n}}) x 0,811 = \\ & 72,88 x 1 + (3,46 + 6,65) x 0,675 + (5,11 + 1,265 + 1,265) x 0,797 + \\ & +(4,56) x 0,6482 + (3,04 + 1,77) x 0,811 = \\ & = 72,88 + 6,82 + 6,09 + 2,96 + 3,9 = 92,65\% \end{aligned}$$

El resultado de la reducción de tamaño será una disminución en el consumo eléctrico del 7,35% para el caso cuarto correspondiente a un tamaño medio similar al de una persona con acondroplasia.

4.5 SECTOR TRANSPORTE

El sector del transporte se ve afectado de varias formas al disminuir el tamaño de los seres humanos. En esencia hay dos formas. La directa: al ganar ligereza o densidad de pasajeros los medios de transporte se vuelven más eficientes y en total su consumo es menor. La indirecta: a través de la disminución de consumo en otros sectores económicos y energéticos que tienen un efecto desencadenante en una reducción de consumo en el transporte.

Se empezará con la perspectiva directa, concretamente con los cambios en el transporte público. Nuevamente como referencia se tomará el transporte público en Estados Unidos. Como unidad para observar la importancia relativa de cada uno de sus modos de transportes se utilizará la medida pasajero-milla. Como su número indica relaciona el número de pasajeros totales con la distancia total recorrida. A continuación, se muestra un gráfico resumen:

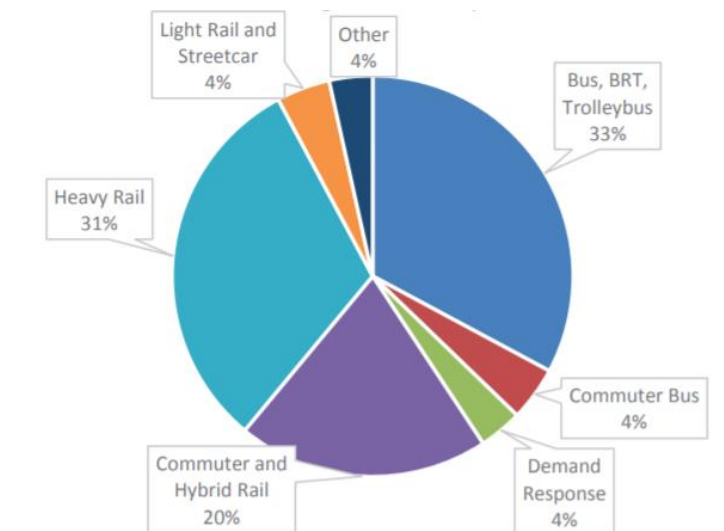


Figura 28: Pasajeros-Milla por Modo en el Transporte Público para EE. UU. en 2015 [57]

A su vez, tenemos los datos globales de pasajeros-milla para el conjunto del sector transporte, los cuales se muestran en la siguiente Tabla 34. Cruzando los datos de ambas fuentes podemos sacar los pasajeros kilómetro totales para el sector público y para cada uno de sus medios de transporte. Concretamente se utilizará el dato para autobuses. Se trata del 33% de los pasajeros-milla en el transporte público y esto se traduce en 346.610 millones de pasajeros-milla [55]. Esto representa un 6,49% de los pasajeros-milla en Estados Unidos, por lo tanto, el sector en su conjunto representa el 19,57% de los pasajeros-milla totales. A continuación, se muestra los principales sectores del transporte público y su porcentaje sobre los pasajeros milla totales:

| TIPO | Pasajeros-milla (Millones) | Porcentaje sobre Transporte |
|-------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Autobús | 346.610 | 6,49% |
| Tren Convencional | 324.600 | 6,09% |
| Metro y Cercanías | 210.000 | 3,93% |

Tabla 34: Pasajeros-Milla y Porción de los Pasajeros-Milla Totales [35]

Usando la anterior tabla 34 se puede apreciar como afectaría potencialmente al consumo energético en el transporte un aumento en densidad de pasajeros. Una medida habitual en la actualidad son 6 pasajeros/m² [58]. El aumento en eficiencia significaría una reducción en consumo inversamente proporcional los coeficientes de anchura y profundidad calculados para las viviendas en el apartado de transporte del capítulo actual. Se tomará el caso de que tanto cercanías, metros, autobuses y trenes convencionales se benefician de este efecto.

Al igual que como sucede con los hogares, el consumo se puede reducir a partir de una nueva dimensionalización de los vehículos. Por su predominancia nos centraremos en el vehículo privado. Se utilizará una metodología similar a la modificación del tamaño llevada a cabo en el sector vivienda. Se utilizarán las mismas dimensiones de anchura de las tablas 30, 31 y 32. También se utilizarán las dimensiones de estatura para la altura del vehículo. Los

fabricantes diseñan los vehículos teniendo en cuenta el confort de los pasajeros y por tanto con un tamaño reducido estos podrán ser potencialmente menores.

El ahorro de combustible se basa en la reducción de área frontal. Se asumirá que el coeficiente aerodinámico varía de forma despreciable con las nuevas alturas del coche. El área frontal es proporcional a la resistencia del aire según la ecuación:

$$F_{aero} = 0.5 \times \rho \times C_x \times A \times v^2$$

En el Anexo G se muestra una tabla de Excel que simula la potencia requerida por un vehículo según las condiciones de pendiente, peso, velocidad y aceleración entre otras. Se muestra una tabla que expresa el porcentaje de cada fuerza con respecto a la fuerza total para diferentes velocidades. Se tomará el caso particular de un vehículo ligero que pese 1,900 kg y quiera mantener una velocidad constante con pendiente nula. Para representar un caso intermedio entre autopista y ciudad tomaremos un valor de 80km/h para la velocidad. Por tanto, la fuerza aerodinámica representa el 31% del consumo de estos vehículos a dicha velocidad.

Un valor común para el área frontal de un utilitario son 1,9 m² [56]. Utilizaremos este valor como base para calcular la diferencia de altura de los vehículos utilizando las tablas de altura 30, 31 y 32. Dado que no toda el área de un vehículo se debe a motivos funcionales se supondrá que los efectos de variación de tamaño afectarán al 80% del área frontal del vehículo (1,52 m²). Los resultados se muestran a continuación:

| CASO | Coefficiente anchura | Coefficiente altura | Reducción (%) |
|---------------|----------------------|---------------------|---------------|
| Indonesia | 0,924 | 0,964 | 8,74% |
| Tribu Baka | 0,87 | 0,871 | 19,37% |
| Acondroplasia | 0,747 | 0,75 | 35,18% |

Tabla 35: Cálculos Coeficientes Reducción Área Frontal Vehículos Ligeros para cada Caso

En este trabajo no se abordarán dos sectores que sin duda se ven afectados por la nueva realidad resultante de la variación de tamaño del humano medio. Se trata de los sectores de transporte de alimentos y del transporte asociado al sector de la construcción. Esto se fundamenta en la dificultad de encontrar datos fiables de consumo energético de estos dos sectores. Estimaciones que se barajaron para este apartado arrojaban diferencias de un orden de magnitud entre sí. Es por eso por lo que se considera necesario elaborar un modelo en concreto que tengan en cuenta el funcionamiento de dichos sectores a un alto nivel para poder estimarlo con confianza en el resultado. Esto se indicará en el Capítulo 6: Trabajos Futuros trabajos futuros ya que por limitación de tiempo queda fuera del alcance de este proyecto.

En las siguientes líneas se muestra el cálculo de ahorro total en el sector transporte debido al tamaño:

$$\begin{aligned}
 & \textit{Reducción Consumo Energético Transporte Caso Indonesia} = \\
 & = \%Vehiculos \times Coef_{consumo-aerodin} \times Coeficiente_{vehiculosligerosIndonesia} + \\
 & + \%Transp. P\acute{u}blico \times Coeficiente_{tp-Indonesia} + \%RestoSector \times 1 = \\
 & = 49,06 \times 0,31 \times 0,9126 + 19,57 \times 0,844 + 31,37 + 33,85 = 95,61\%
 \end{aligned}$$

El porcentaje de consumo energético de vehículos ligeros se obtiene de la Figura 9 en el apartado global del Capítulo 2: Creación del Modelo de Proyecciones Futuras. El último valor (33,85) proviene de la parte del consumo de vehículos de carretera que no depende de la resistencia aerodinámica (49,06x0,69).

En total, debido a las consecuencias de un tamaño menguado el sector transporte podría ver su consumo reducido en un 4,39% para el caso segundo correspondiente a un tamaño medio comparable al de Indonesia.

Reducción Consumo Energético Transporte Caso Baka =

$$\begin{aligned}
 &= \%Vehiculos \times Coef_{consumo-aerodin.} \times Coeficiente_{vehiculosligerosBaka} + \\
 &+ \%Transp. P\acute{u}blico \times Coeficiente_{area-vivienda-Baka} + \%RestoSector \times 1 = \\
 &49,06 \times 0,31 \times 0,806 + 19,57 \times 0,724 + 31,37 + 33,85 = \\
 &12,26 + 14,17 + 31,37 + 33,85 = 91,65\%
 \end{aligned}$$

En total, debido a las consecuencias de un tama\~no menguado el sector transporte podr\~a ver su consumo reducido en un 8,35% para el caso tercero correspondiente a un tama\~no medio comparable al de un miembro de la tribu Baka.

Reducción Consumo Energético Transporte Caso Acondroplasia =

$$\begin{aligned}
 &= \%Vehiculos \times Coef_{consumo-aerodin.} \times Coeficiente_{vehiculosligerosIndonesia} + \\
 &+ \%Transp. P\acute{u}blico \times Coeficiente_{tp-Indonesia} + \%RestoSector \times 1 = \\
 &49,06 \times 0,31 \times 0,648 + 19,57 \times 0,5341 + 31,37 + 33,85 = \\
 &= 9,86 + 10,45 + 31,37 + 33,85 = 85,53\%
 \end{aligned}$$

En total, debido a las consecuencias de un tama\~no menguado el sector transporte podr\~a ver su consumo reducido en un 14,47% para el caso cuarto correspondiente a un tama\~no medio comparable al de una persona con acondroplasia.

Capítulo 5. CONCLUSIONES

Con respecto al **primer objetivo del trabajo**, se realizó una proyección a futuro para el año 2100 en la cual se tendría acceso a las tecnologías actuales pero la población tendría un impacto ambiental igual a de los ciudadanos estadounidenses en la actualidad. Se realizó con datos fiables de entidades públicas de EE. UU. para los sectores más relevantes ambiental y energéticamente, el sector eléctrico, el sector alimenticio, el sector hídrico, el sector residencial y el sector transporte. Se da el objetivo por cumplido.

Con relación al **segundo objetivo del trabajo**, se identificaron los parámetros y las características del ser humano que ligan su existencia al consumo de recursos o a la satisfacción de una serie de necesidades. Se plantearon cuatro escenarios, uno de la población actual estadounidense y tres alternativos. También se da por alcanzado.

A raíz del tercer punto de los objetivos, se realizó una estimación, a partir del modelo creado para las proyecciones futuras, del efecto que tendrían cada uno de los tres escenarios alternativos en el consumo energético y de recursos futuro. Se da por cumplido.

Con el **cuarto objetivo** se pretendía dar respuesta a la duda de si la optimización de tamaño puede ser una solución adecuada para los problemas de sostenibilidad en cada uno de los sectores estudiamos. Se concluirá por partes:

Con respecto al **sector alimenticio** se obtendría una reducción del 10,1%, 19,66% y 20,1% para los tres casos planteados respectivamente. En el caso del tamaño de Indonesia podría ser una opción viable ya que con un cambio mínimo en el tamaño se reduciría un 10,1% el impacto ambiental del ser humano en ese sector y los cambios respecto a la vida de un americano medio serían mínimos. Sin embargo, los siguientes casos podrían no resultar tan positivos en cuanto a la reducción de consumo frente a las desventajas. La reducción sería relevante pero, según los criterios empleados en este trabajo, un factor de dos no justificaría el esfuerzo de manipulación del crecimiento humano.

Con respecto al **sector hídrico** se reduciría consumo en parámetros similares al consumo alimenticio como vimos en el apartado de Parametrización Según Tamaño, si bien algo menores debido a que se reduce significativamente solo la porción del sector primario. La conclusión por tanto es similar al apartado anterior. La reducción de tamaño tiene una clara ventaja para cambios mínimos, si bien la reducción de consumo para cambios más drásticos, como en el caso de la tribu Baka o de personas con acondroplasia, no se considera suficiente justificación para perseguir dicho objetivo.

Con respecto al **sector eléctrico** la reducción en cada uno de los casos planteados sería del 2,52%, 4,83% y 7,35%. A la vista de los resultados la medida de reducción de tamaño no sería adecuada para subsanar la problemática medioambiental en el sector eléctrico. Una reducción menor del 10% no cambia significativamente el escenario actual. Se sugieren otras alternativas, como la introducción progresiva de generación renovable, cada vez más competitiva, para aliviar el efecto contaminante derivado de la utilización de este recurso energético.

Con respecto al **sector residencial** la disminución de consumo en el sector correspondería a una reducción del 10,4%, 19% y 32,53% respectivamente para cada uno de los casos del modelo en su proyección futura. En este sector el efecto en el consumo de la máxima reducción de tamaño es muy significativa y justificaría poner en práctica un control del crecimiento humano. Un 30% ganaría tiempo para complementar la solución con otras medidas y tiene un impacto difícilmente alcanzable por otros medios.

Con respecto al **sector transporte** se alcanzaría una reducción del 4,39%, 8,35% y 14,47% para cada uno de los tres posibles escenarios futuros. Hay que matizar que no se ha estimado el impacto de la reducción de consumo energético en las partidas de transporte agrícola y transporte de materiales de construcción. El transporte no de pasajeros representa un 18% del consumo mundial de energía para transporte [], por lo que podría suponer una reducción adicional de hasta un 5% del total. Para los casos de menor reducción no tendría sentido aplicar la disminución de tamaño debido a que el posible ahorro es escaso. Se podría barajar el escenario de tamaño medio de una persona con acondroplasia ya que si se tuviera en cuenta

los efectos de los sectores agrícolas y de la construcción se podría reducir en más de un 15% el gasto energético del transporte. Debido a que es el segundo sector con mayor consumo en la economía estadounidense una reducción superior al 15% tendría un efecto considerable y se acercaría a la solución.

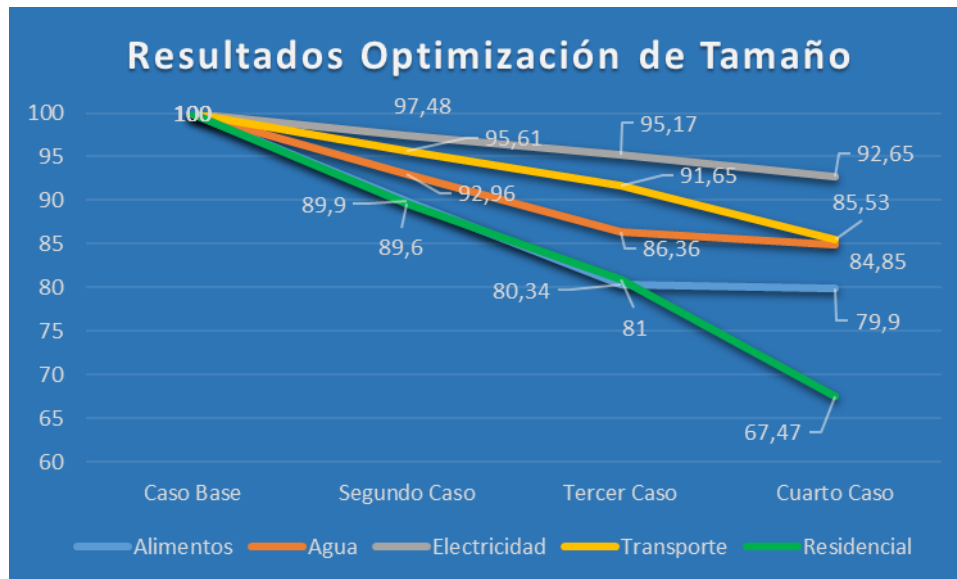


Figura 29: Cambios Derivados de la Optimización de Tamaño Respecto al Caso Base

En relación al **quinto objetivo** del proyecto, se concluirá si la reducción de tamaño podría ser un curso de acción válido para solventar el problema medioambiental al que nos enfrentamos como especie. Cabe resaltar que los efectos del modo de vida moderno sobre el planeta son ya inevitables y realmente debemos plantear la mejor manera de minimizar y abordar los problemas. Si a día de hoy el ser humano parase completamente de emitir gases de efecto invernadero, se tardarían como mínimo 10 siglos en recuperar los niveles de dióxido de carbono atmosférico preindustriales [59]. Actualmente se considera sumamente improbable que no alcancemos los dos grados de calentamiento global sobre la temperatura preindustrial [60]. Siendo esta la situación, ganar tiempo es prioritario puesto que los cambios estructurales son procesos lentos que llevan décadas de modificaciones graduales economía y política.

Un aspecto muy positivo es que se trata de soluciones que afectan a prácticamente todos los ámbitos de consumo de forma profunda. Así, si se obtiene una reducción del 10% en el cómputo global si faltasen hipotéticamente 100 años para llegar a un escenario catastrófico se dispondría de una década más de margen. Se trata por tanto de una medida que podría resultar muy útil para complementar una solución más completa para el calentamiento global. El primer escenario correspondiente a una optimización con las medidas de Indonesia como modelo no supone apenas perjuicio, no requiere de un cambio en el estilo de vida y afecta a todos los sectores de consumo energético. Por lo tanto, se recomienda como medida complementaria, si bien siendo conscientes de que sería de difícil aceptación entre la sociedad y por tanto sería difícil su implementación. El segundo escenario correspondiente al tamaño de la Tribu Baka tiene un impacto más profundo, aproximadamente un factor de 2, y se recomienda si las previsiones empeoran en el futuro. El tercer caso se corresponde con la optimización de tamaño según el modelo de individuos con acondroplasia. Tiene múltiples implicaciones y cambios, siendo necesario adaptar todos los edificios y entornos para el nuevo tamaño humano. Al ser el cambio más radical el tiempo de implementación también aumentaría. Solo se aconseja la aplicación de esta medida en un caso extremo en el cuál se quiera utilizar todos los recursos disponibles para aligerar la presión sobre el medio ambiente.

Capítulo 6. TRABAJOS FUTUROS

En este apartado se mencionarán aquellos campos en los que, según el autor, merece la pena investigar a continuación de este proyecto. Algunos de ellos no fueron desarrollados por limitaciones de tiempo y de objetivos del trabajo mientras que otros abren campos nuevos.

Al tratar con las soluciones de optimización de tamaño resulta de vital importancia complementar los cálculos energéticos con un apartado de consecuencias biológicas en el ser humano. El límite real a esta vía de acción se da cuando las consecuencias para la salud humana se vuelven inasumibles pues impiden al individuo vivir de manera digna. Las personas con acondroplasia suelen padecer ciertos problemas de salud, tales como apnea, obesidad e infecciones de oído, con mayor frecuencia que el resto de la población. Un tamaño aún menor podría implicar cambios en el desarrollo que afectarían de forma más intensa la salud.

Queda por analizar la manera en la que se implementarían estas soluciones en el caso de llevarse a cabo. Esta problemática es tanto médica como sociopolítica. Desde el punto de vista médico podría bastar con controlar los niveles de hormona de crecimiento de los menores durante su crecimiento. En caso contrario, tal vez sean necesarios costosos estudios que investiguen los cambios genéticos más apropiados para alcanzar el objetivo. En cualquier caso, es necesario aclarar sus detalles.

Desde el punto de vista sociopolítico, la sociedad en su conjunto debe de aprobar la medida. Serían cambios de tanto calado y con tantas implicaciones para el futuro de la especie que muy pocas personas querrían mantenerse al margen. Si se plantearan solo soluciones parciales, tales como ofrecer incentivos a aquellos que acepten reducirse podría surgir el peligro de una profunda división social. Las personas más adineradas no necesitarían de ayudas y la desigualdad se agrandaría por motivos físicos además de económicos. Un estado totalitario con voluntad de aplicar la medida podría acabar siendo, a pesar de sus numerosos inconvenientes, la mejor opción.

Como nueva vía de investigación, se podría estudiar el efecto de la reducción de tamaño en el consumo metabólico de los distintos órganos. Tal vez por esa vía se encuentren nuevas eficiencias que implicasen una mayor reducción del consumo. En la Tabla mostrada a continuación, se puede observar el consumo típico de algunos órganos [36]:

| Organ | Adult | | | | Neonate | | | |
|---------|-----------------------|----------------------------|-----------------|--------------------|------------|---------|-----------------|------------|
| | Wt (kg) | MR (m10 ₂ /min) | MR/day kJ(kcal) | MR/kg/day kJ(kcal) | % total MR | Wt (kg) | MR/day kJ(kcal) | % total MR |
| Liver | 1.6 | 67 | 2018 (482) | 1261 (301) | 27 | 0.14 | 177 (42) | 20 |
| Brain | 1.4 | 47 | 1414 (338) | 1010 (241) | 19 | 0.35 | 354 (84) | 44 |
| Heart | 0.32 | 17 | 512 (122) | 1600 (382) | 7 | 0.02 | 32 (8) | 4 |
| Kidneys | 0.29 | 26 | 783 (187) | 2700 (645) | 10 | 0.024 | 65 (15) | 7 |
| Muscle | 30.00 | 45 | 1356 (324) | 45 (11) | 18 | 0.8 | 37 (9) | 5 |
| Misc. | constitutes remainder | | | | | | | |
| Total | 70.00 | 250 | 7530 (1800) | 108 (26) | | 3.5 | 750 (180) | |

Tabla 36: Consumo Metabólico de Órganos y Tejidos en el Ser Humano [36]

Finalmente, se podría mejorar el modelo actual realizando estimaciones en las partidas energéticas que no se han analizado en profundidad o que se han obviado. Estas incluyen el consumo de energía en el transporte de alimentos y materiales de construcción. También las partidas de calentamiento de agua y ventilación de espacios en el sector eléctrico.

Capítulo 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Dietary Guide Lines 2015-2020: “USDA Food Patterns Healthy US – Style Eating Pattern”, Febrero 2018. <https://health.gov/dietaryguidelines/2015/guidelines/appendix-3/>
- [2] FAO, “El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación 2008”, Febrero 2018.
- [3] United States Department of Agriculture Economic Research Service, “Food Availability and Consumption”, Febrero 2018. <https://www.ers.usda.gov/data-products/ag-and-food-statistics-charting-the-essentials/food-availability-and-consumption/>
- [4] Lawrence Livermore National Laboratory, “California Estimated Energy and Water Flows”, Febrero 2018. [https://flowcharts-llnl.gov/content/assets/images/charts/Energywater/Energywater_2010_United_States_CA.png](https://flowcharts.llnl.gov/content/assets/images/charts/Energywater/Energywater_2010_United_States_CA.png)
- [5] FAOSTAT, “Fertilizers Consumption in Nutrients”, Febrero 2018.
- [6] NRDC, “Wasted: How America is Losing up to 40 Percent of It’s Food from Farm to Fork to Landfill” Second Edition, Febrero 2018. <https://www.nrdc.org/sites/default/files/wasted-2017-report.pdf>
- [7] FAO, AQUASTAT, Febrero 2018.
<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=es>
- [8] United States Census Bureau, “QuickFacts California”, Febrero 2018, <https://www.census.gov/quickfacts/fact/table/ca/PST045217>
- [9] United States Census Bureau, “Population Estimate July 2017”, Marzo 2018. <https://www.census.gov/programs-surveys/popest.html>
- [10] Lawrence Livermore National Laboratory, “Estimated U. S. Carbon Emissions”, Marzo 2018. <https://flowcharts.llnl.gov/commodities/carbon>
- [11] U. S. Energy Information Administration, “RECS data shows decreased Energy Consumption per Household”, Marzo 2018. [https://www.eia.gov/consumption/residential/reports/2009/consumption-down.php?src=%E2%80%B9%20Consumption%20%20%20%20Residential%20Energy%20Consumption%20Survey%20\(RECS\)-f5#fig-1](https://www.eia.gov/consumption/residential/reports/2009/consumption-down.php?src=%E2%80%B9%20Consumption%20%20%20%20Residential%20Energy%20Consumption%20Survey%20(RECS)-f5#fig-1)
- [12] USGS, “Use of Raw Materials in the United States From 1900 Through 2014”, Marzo 2018. <https://pubs.usgs.gov/fs/2017/3062/fs20173062.pdf>

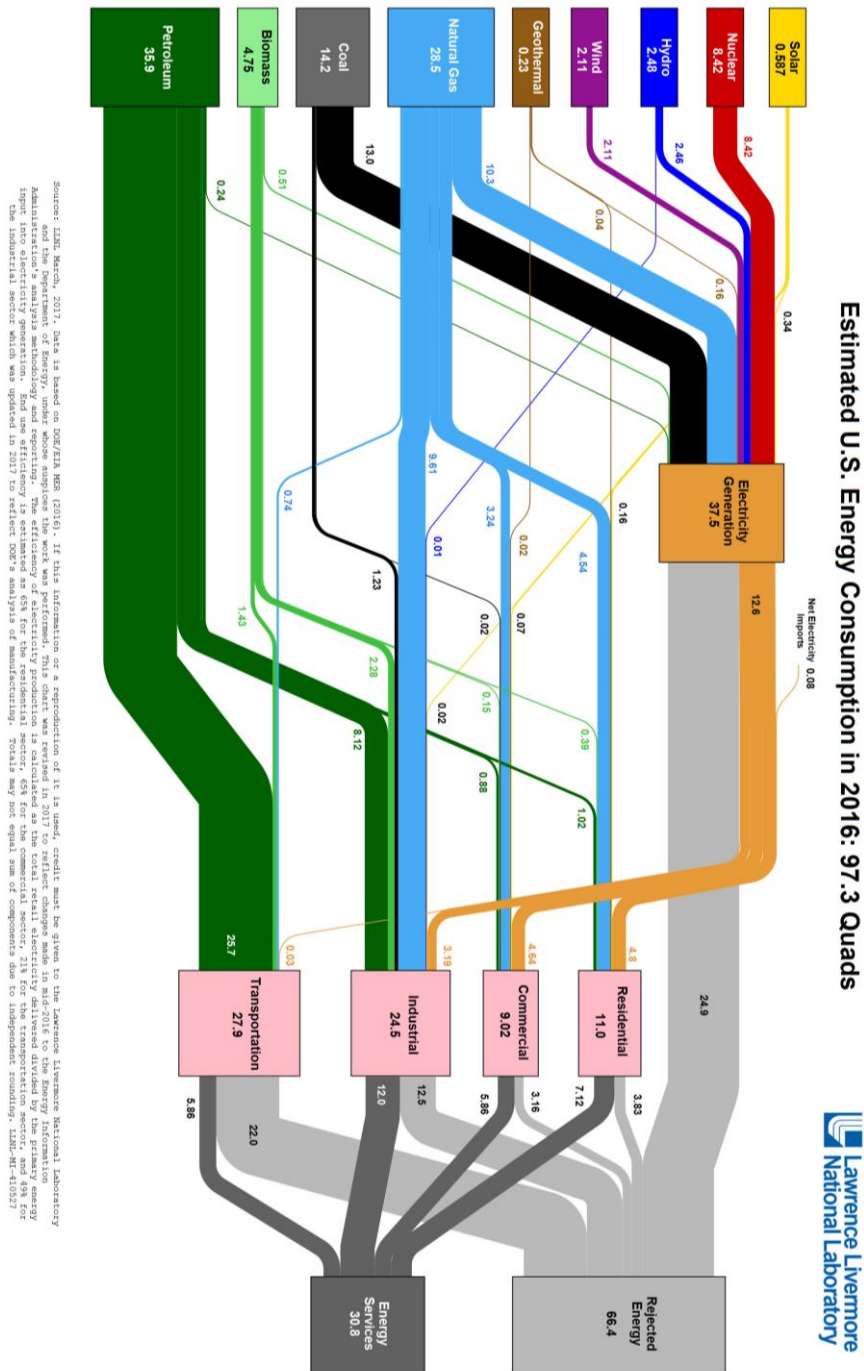
- [13] World Resources Institute, Don Rogich, Amy Cassara, Iddo Wernick, Marta Miranda, “Material Flows in the United States”, Marzo 2018. http://wriorg.s3.amazonaws.com/s3fs-public/pdf/material_flows_in_the_united_states.pdf
- [14] United Nations: DESA/POPULATION DIVISION, “World Population Prospects 2017”, Marzo 2018. <https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Probabilistic/Population/>
- [15] European Fresh Produce Association, “World Production of Fruits and Vegetables August 2015”, Abril 2018. http://www.freshfel.org/docs/FAQ/Fact_Sheet_-_world_production_2009_-_2013.pdf
- [16] FAO, “World Production of Fruits and Produce 2016”, Abril 2018. <http://www.fao.org/in-action/inpho/crop-compendium/fruits-vegetables/en/>
- [17] OCDE-FAO: “Agricultural Outlook 2015-2024”, Abril 2018. <http://www.fao.org/3/a-i4738e.pdf>
- [18] Hanna Ritchie, Max Roser, “Meat and Seafood Production & Consumption”, Abril 2018. <https://ourworldindata.org/meat-and-seafood-production-consumption>
- [19] FAO: “Global Water Withdrawal”, Abril 2018. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/didyouknow/index2.stm>
- [20] EIA, “Transportation Sector Energy Consumption”, Abril 2018. <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/transportation.pdf>
- [21] Hadi Arbabi, Martin Mayfield, “Urban and Rural – Population and Energy Consumption Dynamics in Local Authorities within England and Wales”. Published: 30th August 2016.
- [22] Jeffrey R. Kenworthy, Felix B. Laube, “Automobile Dependence in Cities: an International Comparison of Urban Transport and Land Use Patterns with Implications for Sustainability, Murdoch University, Perth, Australia. <http://commons.trincoll.edu/rahmed/files/2013/10/auto-dependence-international.pdf>
- [23] EIA, “Electricity Explained: Uses of Electricity”, Abril 2018. https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=electricity_use
- [24] SEDAC (Columbia University and NASA), Mapas para el Desarrollo del Modelo, Abril 2018. <http://sedac.ciesin.columbia.edu/maps/gallery/search/2?facets=theme:population&facets=region:global>
- [25] Pidwirny, M. (2006). "Introduction to the Oceans". *Fundamentals of Physical Geography, Segunda Edición*. Mayo 2018. <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8o.html>

- [26] Central Intelligence Agency, “The World Factbook”, Mayo 2018.
https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/geos/print_ay.html
- [27] A. John Arnfield, ENCYCLOPEDIA BRITANNICA, “Koppen Climate Classification”, Mayo 2018. <https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification>
- [28] EIA, “Carbon Dioxide Emission Coefficients”, Mayo 2018.
https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php
- [29] U. S. Census Bureau, “Median and Average Square Feet of Floor Area in New Single-Family Houses Completed by Location”, Mayo 2018.
<https://www.census.gov/const/C25Ann/sfttotalmedavgsqft.pdf>
- [30] U. S. Census Bureau, “Characteristics of New Housing”, Mayo 2018.
<https://www.census.gov/construction/chars/highlights.html>
- [31] Emily Badger, Christopher Ingraham, The Washington Post, “The Most Popular Type of Home in Every Major American City, Charted”, Mayo 2018.
https://www.washingtonpost.com/news/wonk/wp/2015/09/21/the-most-popular-type-of-home-in-every-major-american-city-charted/?utm_term=.e3518ca3120d
- [32] Andrew Soergel, U. S. News, “In America Rural – Urban Divide, Age, Earnings and Education Are Prominent”, Junio 2018. <https://www.usnews.com/news/articles/2016-12-08/in-americas-rural-urban-divide-age-earnings-and-education-are-prominent#close-modal>
- [33] Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, “Determinación del Metabolismo Energético”, Junio 2018.
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_323.pdf
- [34] FAO – WHO “Base Metabolic Rate in Man”, Junio 2018.
<http://www.fao.org/docrep/MEETING/004/M2845E/M2845E00.HTM>
- [35] PubMed, Du Bois D, Du Bois EF, “A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known”, Junio 2018. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2520314>
- [36] FAO, “Equations for the Prediction of Basal Metabolic Rate”, Junio 2018.
<http://www.fao.org/docrep/003/aa040e/aa040e15.htm>
- [37] U. S. National Library of Medicine, Nasim S. Sabounchi, Hazhir Rahmandad, Alice Ammerman, “Best Fitting Prediction Equations for Basal Metabolic Rate: Informing Obesity Interventions in Diverse Populations”, Junio 2018.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4278349/>

- [38] United Nations: DESA/POPULATION DIVISION, “World Population Prospects 2017”, Junio 2018. <https://esa.un.org/unpd/wpp/DataQuery/>
- [39] U. S. Census Bureau, “Cumulative Percent Distribution of Population by Height and Sex”, Junio 2018.
<https://www2.census.gov/library/publications/2010/compendia/statab/130ed/tables/11s0205.pdf>
- [40] Nature Magazine, “Growth Patterns in African Pygmies of Known Age”, Junio 2018.
<https://www.nature.com/articles/ncomms8672>
- [41] U. S. National Library of Medicine: Genetis Home Reference, “Achondroplasia”, Junio 2018. <https://ghr.nlm.nih.gov/condition/achondroplasia#statistics>
- [42] J.E. Hoover-Fong, J. McGready, K.J. Schulze, H. Barnes, C.I. Scott, “Weight for Age Charts for Children With Achondroplasia”, John Hopkins University, Junio 2018.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/ajmg.a.31873>
- [43] Little People of America, “Achondroplasia Height-Males”, Junio 2018.
<https://lpamrs.memberclicks.net/assets/documents/Achon%20growth%20chart%20male.Horton%2078.pdf>
- [44] Julius Panero, Martin Zelnick, (1996). “Las Dimensiones Humanas en los Espacios Interiores: Estándares Antropométricos” Séptima Edición. Junio 2018.
<https://www.fceia.unr.edu.ar/darquitectonico/darquitectonico/RepHip/las-dimensiones-humanas.pdf>
- [45] National Health Survey 1962: Weight, Height and Selected Body Dimensions of Adults, United States 1960-1962”, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, Public Health Service Publication n.º 1000 Series 11, n.º 8, junio de 1965. Julio 2018.
- [46] FAO, “Equations for the Prediction of Basal Metabolic Rate”, Junio 2018.
<http://www.fao.org/docrep/003/aa040e/aa040e15.htm>
- [47] Charles-Édouard Jeanneret-Gris, (1948) “Le Modulor”. Junio 2018.
- [48] European Journal of Clinical Nutrition, AP Vivanti, “Origins for the Estimations of Water Requirements in Adults”, Junio 2018 <https://www.nature.com/articles/ejcn2012157>
- [49] Naciones Unidas, “Portada- Asuntos que nos Importan- Agua”, Junio 2018.
<http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>
- [50] EPA, “How We Use Water”, Julio 2018. <https://www.epa.gov/watersense/how-we-use-water>
-

- [51] USGBC, “Green Building Facts”, Julio 2018.
<https://www.usgbc.org/Docs/Archive/General/Docs18693.pdf>
- [52] United Nations: DESA/POPULATION DIVISION, “World Population Prospects 2017”,
Junio 2018. <https://esa.un.org/unpd/wpp/DataQuery/>
- [53] EIA, “Industrial Sector Energy Consumption”, Julio 2018,
<https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/industrial.pdf>
- [54] EIA, “Petroleum and Other Liquids: Refinery Yield”, Julio 2018.
https://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pnp_pct_dc_nus_pct_m.htm
- [55] United States Department of Transportation, “Bureau of Transportation Statistics”, Julio
2018. <https://www.bts.gov/content/us-passenger-miles>
- [56] Mayfield Company, “Vehicles Aerodynamics”, Julio 2018.
<http://www.mayfco.com/dragcd~1.htm>
- [57] Fff American Public Transportation Association, “Public Transport Fact Book 2017”, Julio
2018. <https://www.apta.com/resources/reportsandpublications/Documents/2017-APTA-Fact-Book.pdf>
- [58] Ernst Neufert, 1995, “El Arte de Proyectar en Arquitectura”, 14ª Edición. Julio 2018.
- [59] Proceedings of The National Academy of Sciences of the United States of America, Susan
Solomon, Gian-Kasper Plattner, Reto Knutti, Pierre Friedlingstein, “Irreversible Climate
Change Due to Carbon Dioxide Emissions”, Julio 2018.
<http://www.pnas.org/content/106/6/1704>
- [60] Intergovernmental Panel on Climate Change, “Projections of Future Changes in Climates”,
Julio 2018. https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/spmsspmp-projections-of.html

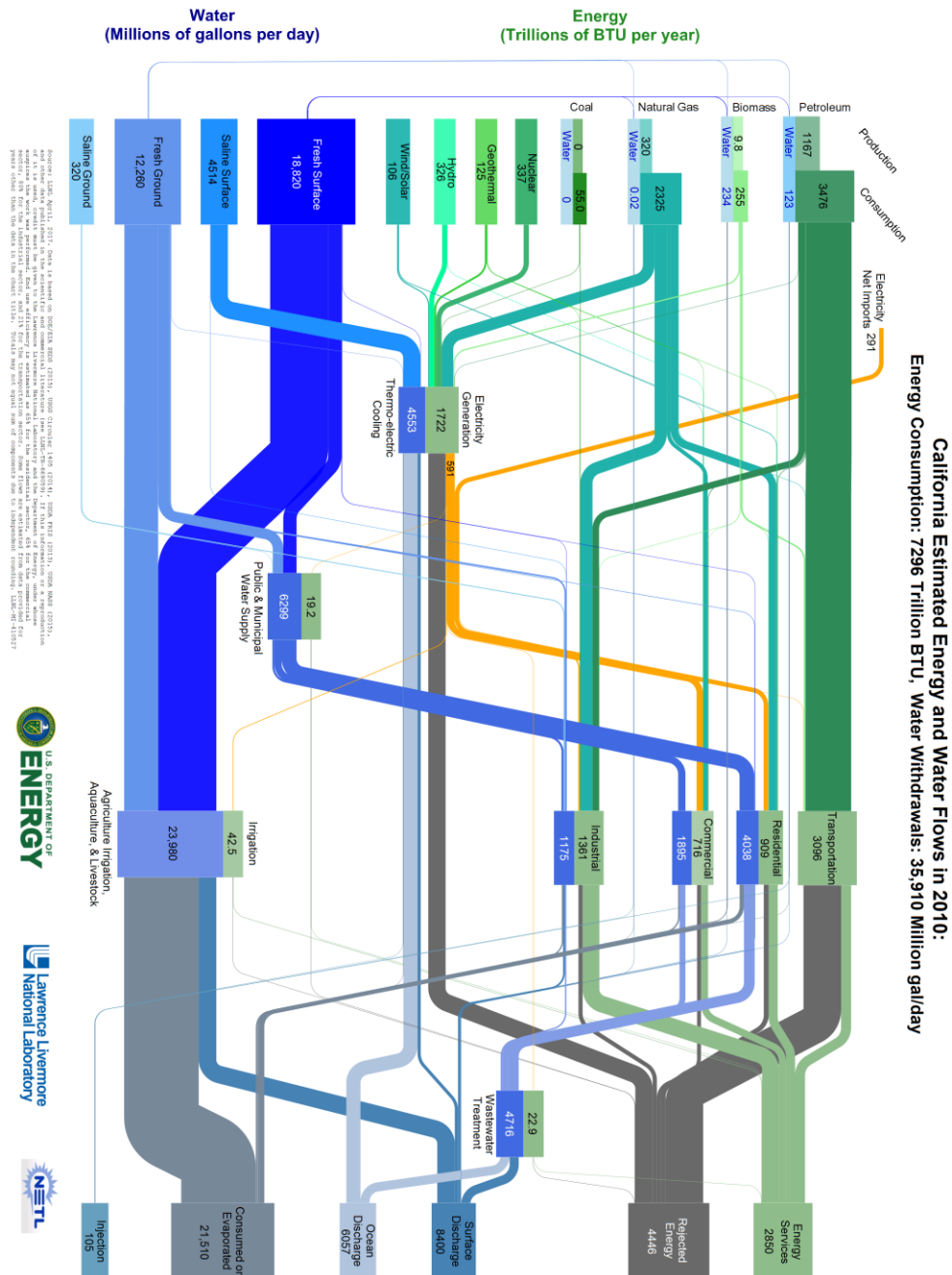
ANEXO A



Lawrence Livermore National Laboratory, Estimated U. S. Energy Consumption 2016,

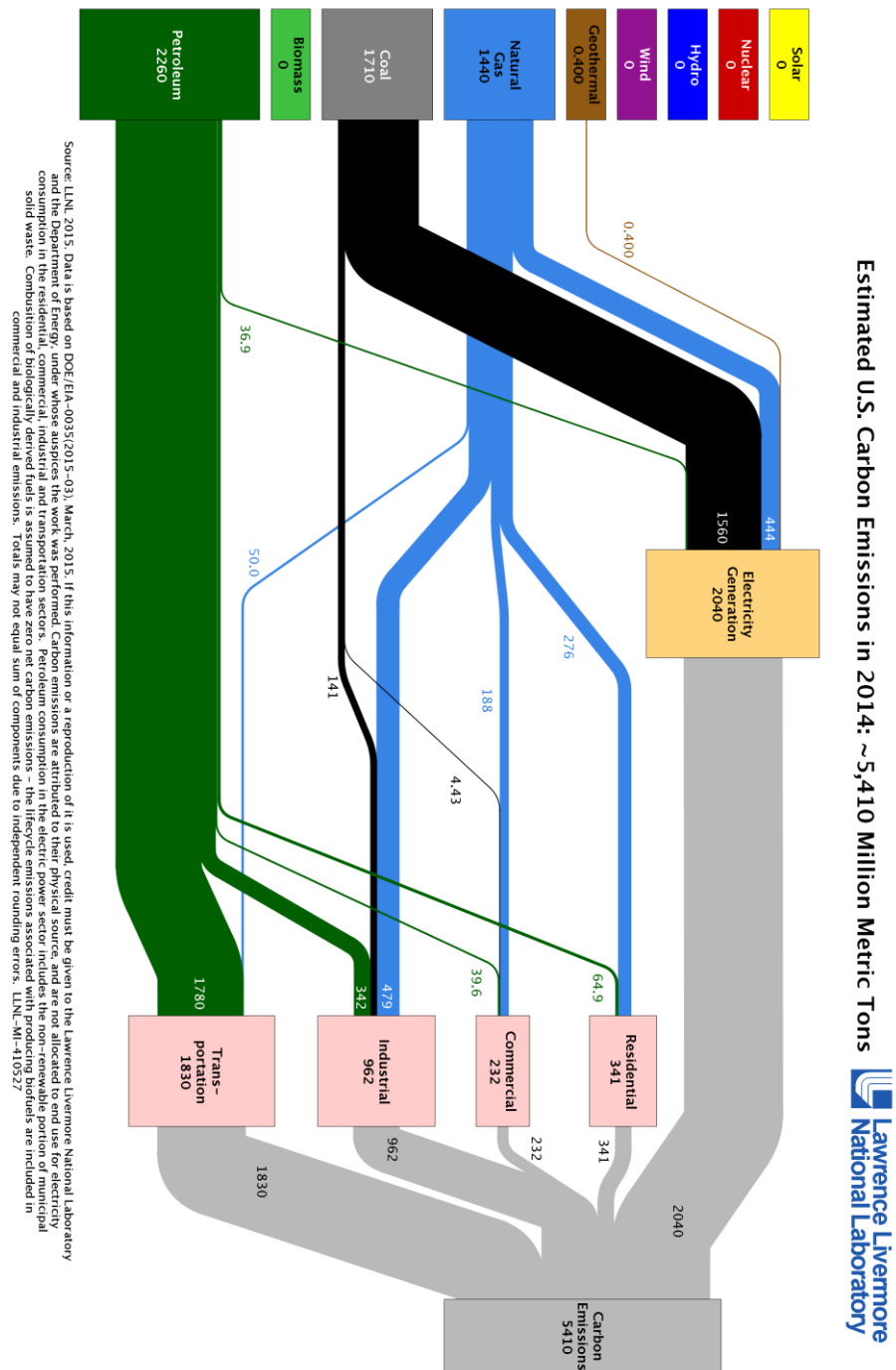
<https://www.llnl.gov/sites/default/files/media/2017/04/usenergy2016.jpg>

ANEXO B



Lawrence Livermore National Laboratory, California Estimated U. S. Water Flows 2016,
https://flowcharts.llnl.gov/content/assets/images/charts/Energywater/Energywater_2010_United-States_CA.png

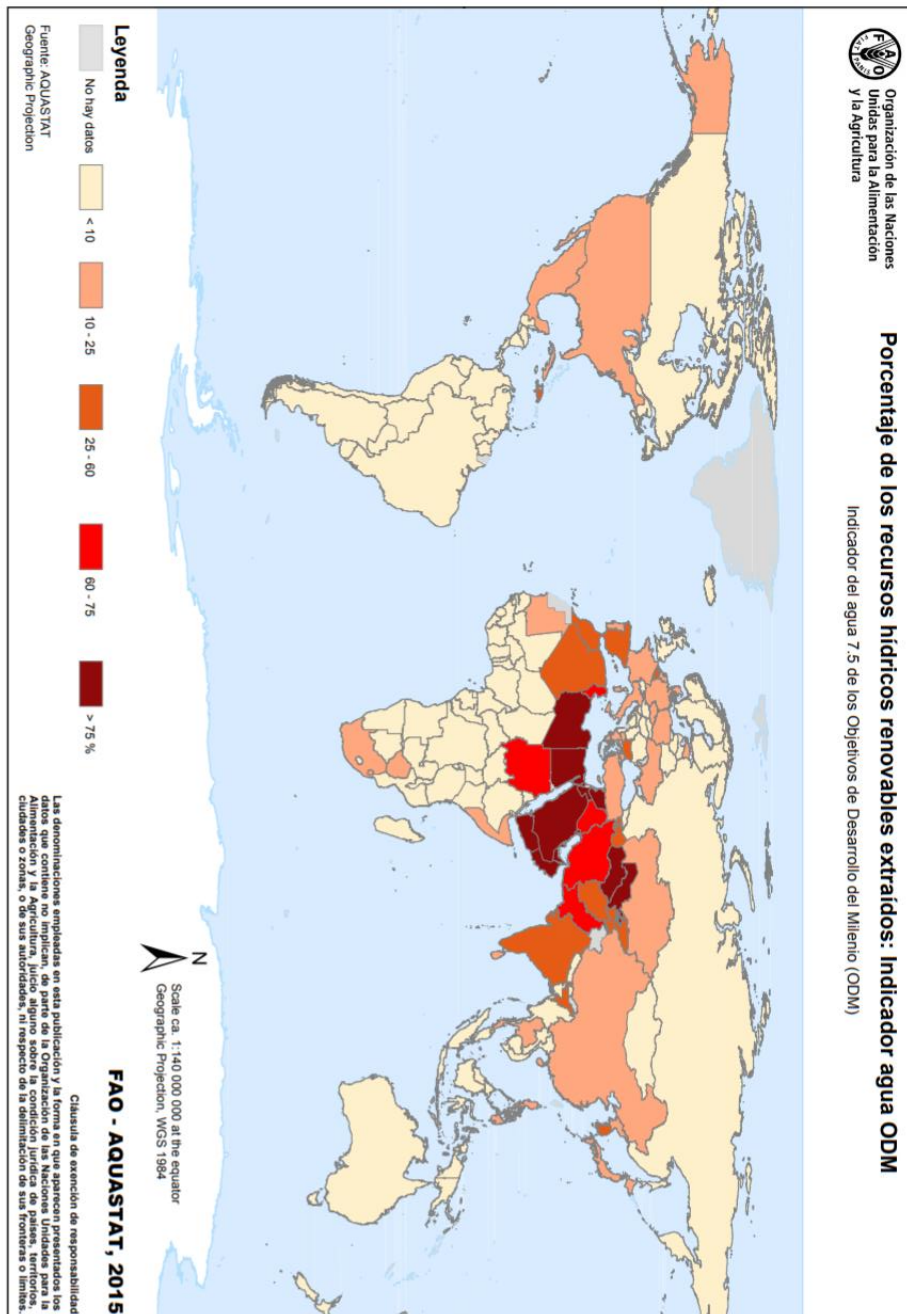
ANEXO C



Lawrence Livermore National Laboratory, U. S. Carbon Emissions in 2014,

<https://flowcharts.llnl.gov/commodities/carbon>

ANEXO D



FAO, Porcentaje de los Recursos Hídricos Renovables Extraídos

http://www.fao.org/nr/water/aquastat/maps/MDG_esp.pdf

ANEXO E

Código del Programa “Color Pixel Counter” desarrollado en colaboración con Todd Leach, estudiante e investigador en Boston University.

```
package santi.Incorporated;

import java.awt.image.BufferedImage;

import java.awt.image.DataBufferByte;

import java.io.File;

import java.io.IOException;

import javax.imageio.ImageIO;

public class ImageUtility {

    public static float getPercentOfDarkPixelsForDarkOrLight (BufferedImage image, Model model) { // this one is only used for determining the lightness or darkness of a car

        int numRowsToSample = getNumRowsToSample (image);

        int darkPixelCount = 0;

        int pixelsChecked = 0;

        for (int i = image.getWidth()/2-image.getWidth()/8; i < image.getWidth()/2+image.getWidth()/8; i+=2){

            for (int j = image.getHeight()/2-image.getHeight()/8; j < image.getHeight()/2+image.getHeight()/8; j+=image.getHeight()/numRowsToSample) {

                int[] bgr = ImageUtility.getBGR (model.getPixels() [i] [j]);

                pixelsChecked++;

                if (bgr[0] + bgr[1] + bgr[2] < 260) {

                    darkPixelCount++;

                }

            }

        }

    }

}
```

```

        float                percentOfDarkPixels                =
(float)darkPixelCount/(float)pixelsChecked;

//        System.out.println("Percent of Dark Pixels: " + percentOfDarkPixels
);

        return percentOfDarkPixels;

    }

    public static int getNumRowsToSample(BufferedImage image) {

        float percentOfImageToCover = (float).1;

        int widthDivider = 2; // refers to the number next to the i++ in
isImageLight

        int                numRowsToSample                =                (int)(
(percentOfImageToCover*(image.getHeight()*image.getWidth()*widthDivider)/image.g
etWidth() );

        return numRowsToSample;

    }

    // This brightness algorithm accounts for the current luminance

    public static int[] getBGR(int pixel)

    {

        int[] bgr = new int[3];

        bgr[0] = (pixel & 0xff); // blue

        bgr[1] = ((pixel >> 8) & 0xff); // green

        bgr[2] = ((pixel >> 16) & 0xff); // red

//        System.out.println("Blue: " + bgr[0]);

//        System.out.println("Green: " + bgr[1]);

//        System.out.println("Red: " + bgr[2]);

        return bgr;

    }

    public static int[][] convertTo2D(BufferedImage image) {

        final                byte[]                pixels                =                ((DataBufferByte)
image.getRaster().getDataBuffer()).getData();

        final int width = image.getWidth();

```

```
        final int height = image.getHeight();

        final boolean hasAlpha = image.getColorModel().hasAlpha();

        final int pixelLength = hasAlpha?4:3;

//        final int pixel_offset = hasAlpha?1:0; // can be used to combine alpha
//        and non-alpha algorithms

        int[][] result = new int[width][height];

        if (hasAlpha)
        {

            System.out.println("Has alpha channel");

        } else {

            @SuppressWarnings("unused")

            long startTime = System.nanoTime();

            for (int pixel = 0, row = 0, col = 0; pixel < pixels.length;
pixel += pixelLength) {

                int bgr = 0;

                bgr += ((int) pixels[pixel] & 0xff); // blue

                bgr += (((int) pixels[pixel+1] & 0xff) << 8); // green

                bgr += (((int) pixels[pixel+2] & 0xff) << 16); // red

                result[col][row] = bgr;

                col++;

                if (col == width) {

                    col = 0;

                    row++;

                }

            }

            @SuppressWarnings("unused")

            long endTime = System.nanoTime();

//            System.out.println((endTime - startTime)/1000000 + " ms to
//            convert image to pixel array");

        }
    }
}
```

```
        return result;
    }

    public static BufferedImage loadImage(String directory)
    {
        BufferedImage image = null;
        try {
            image = ImageIO.read(new File(directory));
        } catch (IOException e){
            e.printStackTrace();
        }
        return image;
    }

    public static int getColorDistanceBetweenTwoPixels(int bgr, int bgr2) {
        // this formula is based off of the distance between two points formula
        int colorDistance = (((bgr >> 16) & 0xff) - ((bgr2 >> 16) &
0xff))*(((bgr >> 16) & 0xff) -
        ((bgr2 >> 16) & 0xff)) + (((bgr >> 8) & 0xff) - ((bgr2
>> 8) & 0xff))*
        (((bgr >> 8) & 0xff) - ((bgr2 >> 8) & 0xff)) + ((bgr &
0xff)
        - (bgr2 & 0xff))*((bgr & 0xff) - (bgr2 & 0xff));
        return colorDistance;
    }

    public static void scanImageForCrop(BufferedImage image, Model model) {
        int[] xPositions = new int[2000];
        int xPositionsIterator = 0;
        // horizontal scan from the left
        for (int y = 300; y < image.getHeight()-1200; y++) {
            int arraySize = 200;
            int[] colorDistances = new int[arraySize];
```

```

int[] xPosition = new int[arraySize];

int largestDistance = 0;

int iterator = 0;

for (int x = 0; x < image.getWidth()/2; x++) {

    int distance =
getColorDistanceBetweenTwoPixels(model.getPixels()[x][y],
model.getPixels()[x+2][y]);

    if (distance >= largestDistance){

        largestDistance = distance;

        colorDistances[iterator] = distance;

        xPosition[iterator]= x;

        iterator++;

    }

}

// x: 1720
// y: 388
// System.out.println("Y: " + y);

for (int i = 0; i < arraySize-1; i++) {

    if (y == 388 && colorDistances[i] != 0){

// System.out.println("Distance: " +
colorDistances[i]);

// System.out.println("X: " + xPosition[i]);

    }

    if (colorDistances[i]+1000 < colorDistances[i+1]) {

        xPositions[xPositionsIterator] = xPosition[i];

        xPositionsIterator++;

        break;

    }

}

}

```



```
int smallestX = 10000;

int averageX = 0;

int count = 0;

for (int i = 0; i < xPositions.length; i++) {

    if (xPositions[i] > 10) {

//          System.out.println(xPositions[i]);

        averageX += xPositions[i];

        count++;

        if (xPositions[i] < smallestX){

            smallestX = xPositions[i];

        }

    }

}

averageX = averageX/count;

System.out.println("Average X: " + averageX);

System.out.println("Smallest X: " + smallestX);

}

}

package santi.Incorporated;

import java.awt.image.BufferedImage;

import java.util.ArrayList;

import java.util.Collections;

import java.util.HashSet;

import java.util.List;

import java.util.Set;
```

```
public class ColorCounter {

    public static void main(String args[]) {

        BufferedImage image =
ImageUtility.loadImage("C:\\Users\\santy\\Desktop\\"
        + "BU Courses\\Trabajo de Fin de Grado\\Estado del
Arte\\"
        + "2. Como Convertir los datos según las caracterñísticas
de cada pais\\Mapas Recortar\\"
        + "Pop density NAM cort [www.imagesplitter.net] (1)\\Pop
density NAM cort [www.imagesplitter.net]-15-2.jpeg");

        //Mapas Recortar\\Climate zones NAM cort
[www.imagesplitter.net]\\Climate zones NAM cort [www.imagesplitter.net]-0-0.jpeg

        // "C:\\Users\\santy\\Desktop\\BU Courses\\Trabajo de Fin de Grado\\Estado del
Arte\\2. Como Convertir los datos según las caracterñísticas de cada pais\\Mapas
Recortar\\Pop density NAM cort [www.imagesplitter.net]\\Pop density NAM cort
[www.imagesplitter.net]-0-0.jpeg"

        //C:\\Users\\santy\\Desktop\\BU Courses\\Trabajo de Fin de Grado\\Estado
del Arte\\2. Como Convertir los datos según las caracterñísticas de cada pais\\Mapas
Recortar\\Pop density NAM cort [www.imagesplitter.net] (1)\\Pop density NAM cort
[www.imagesplitter.net]-0-0.jpeg

        int[][] pixels = ImageUtility.convertTo2D(image);

        ArrayList<String> colors = new ArrayList<String>();

        int orangeCount = 0; // alt shift r

        int pinkCount = 0;

        int lavenderCount = 0;

        int magentaCount = 0;

        int brownCount = 0;

        int goldCount = 0;

        int yellowCount = 0;

        int creamCount = 0;

        int darkGreenCount = 0;

        int weirdGreenCount = 0;

        int lightGreenCount = 0;
```

```
int lightBlueCount = 0;

int darkBlueCount = 0;

int iceCount = 0;

int weirdBlueCount = 0;

for (int x = 0; x < image.getWidth(); x++){
    for (int y = 0; y < image.getHeight(); y++) {
        int[] bgr = ImageUtility.getBGR(pixels[x][y]);
        orangeCount += colorPlusPlus(83, 200, 220, 255, 253,
255, bgr);
        pinkCount += colorPlusPlus(47, 82, 168, 212, 232, 255,
bgr);
        lavenderCount += colorPlusPlus(7, 56, 79, 167, 174, 231,
bgr);
        magentaCount += colorPlusPlus(0, 6, 0, 77, 106, 173,
bgr);
        brownCount += colorPlusPlus(0, 100, 56, 110, 135, 255,
bgr);
        goldCount += colorPlusPlus(0, 20, 0, 40, 72, 112, bgr);
        yellowCount += colorPlusPlus(0, 20, 0, 40, 72, 112, bgr);
        creamCount += colorPlusPlus(167, 207, 210, 250, 219,
259, bgr);
        darkGreenCount += colorPlusPlus(24, 64, 145, 185, 30,
70, bgr);
        weirdGreenCount += colorPlusPlus(52, 92, 150, 190, 84,
124, bgr);
        lightGreenCount += colorPlusPlus(50, 90, 226, 266, 95,
135, bgr);
        lightBlueCount += colorPlusPlus(185, 225, 157, 197, 26,
66, bgr);
        darkBlueCount += colorPlusPlus(142, 182, 81, 121, 1, 41,
bgr);
        iceCount += colorPlusPlus(157, 197, 161, 201, 90, 130,
bgr);
        weirdBlueCount += colorPlusPlus(135, 175, 105, 145, 18,
58, bgr);
```

```
    }  
  
    }  
  
    System.out.println("orangeCount : " + orangeCount);  
  
    System.out.println("pinkCount : " + pinkCount);  
  
    System.out.println("lavenderCount : " + lavenderCount);  
  
    System.out.println("magentaCount : " + magentaCount);  
  
    System.out.println("brownCount : " + brownCount);  
  
    System.out.println("goldCount : " + goldCount);  
  
    System.out.println("yellowCount : " + yellowCount);  
  
    System.out.println("creamCount : " + creamCount);  
  
    System.out.println("darkGreenCount : " + darkGreenCount);  
  
    System.out.println("weirdGreenCount : " + weirdGreenCount);  
  
    System.out.println("lightGreenCount : " + lightGreenCount);  
  
    System.out.println("lightBlueCount : " + lightBlueCount);  
  
    System.out.println("darkBlueCount : " + darkBlueCount);  
  
    System.out.println("iceCount : " + iceCount);  
  
    System.out.println("weirdBlueCount : " + weirdBlueCount);  
  
    }  
  
    public static int colorPlusPlus(int minBlue, int maxBlue, int minGreen, int  
maxGreen, int minRed, int maxRed, int[] bgr){  
  
        if (bgr[0] >= minBlue && bgr[0] <= maxBlue && bgr[1] >= minGreen &&  
bgr[1] <= maxGreen && bgr[2] >= minRed && bgr[2] <= maxRed ){  
  
            return 1;  
  
        }  
  
        return 0;  
  
    }  
  
} package santi.Incorporated;  
  
import java.awt.image.BufferedImage;
```

```
public class Model {

    private int[][] pixels;

    private float totalAverageLum; // all the averages added together

    private int imageCount;

    public Model() {

    }

    public void setPixels(BufferedImage image) {

        this.pixels = ImageUtility.convertTo2D(image);

    }

    public int[][] getPixels() {

        return pixels;

    }

    public float getTotalAverageLum() {

        return totalAverageLum;

    }

    public void setTotalAverageLum(float totalAverageLum) {

        this.totalAverageLum = totalAverageLum;

    }

}
```

```
}  
  
public int getImageCount() {  
    return imageCount;  
}  
}
```

ANEXO F

| | Age range (years) | BMR (kJ) (kcal _D in parentheses) | r ² | RSD _D |
|--------------|----------------------|---|----------------|------------------|
| Men | 10-18 | 69.4W + 322.2H + 2.392 (16.6W + 77H + 572) | 0.89 | 418 (100) |
| | 18-30 | 64.4W - 113.0H + 3.000 (15.4W - 27H + 717) | 0.65 | 632 (151) |
| | 30-60 | 47.2W + 66.9H + 3.769 (11.3W + 16H + 901) | 0.60 | 686 (164) |
| | > 60 | 36.8W + 4.719.5H - 4.481 (8.8W + 1.128H - 1.071) | 0.84 | 552 (132) |
| | 10-18 | 30.9W + 2.016.6H + 907 (7.4W + 482H + 217) | 0.77 | 473 (113) |
| | 18-30 | 55.6W + 1.397.4H + 146 (13.3W + 334H + 35) | 0.73 | 502 (120) |
| Women | 30-60 | 36.4W - 104.6H + 3.619 (8.7W - 25H + 865) | 0.70 | 452 (108) |
| | > 60 | 38.5W + 2.665.2H - 1.264 (9.2W + 637H - 302) | 0.82 | 393 (94) |

Ecuaciones de Predicción de Tasa Metabólica según Parámetros

<http://www.fao.org/docrep/003/aa040e/aa040e15.htm>

