

**Universidad de Costa Rica**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil**

**PROPUESTA TÉCNICA PARA LA REDUCCIÓN DE HUELLA DE  
CARBONO EN UN EDIFICIO DE UN LABORATORIO DE ENSAYOS**

**Proyecto Final de Graduación**

Para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

**Marlon Alfredo Morera Sancho**

Directora de Proyecto de Graduación:

**Flor de María Muñoz Umaña, M.Ing., I.C.**

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

**MIEMBROS DEL CÓMITE ASESOR  
Y SUSTENTANTE**



---

Ing. Flor de María Muñoz Umaña, M.Ing. I.C.  
Directora del trabajo



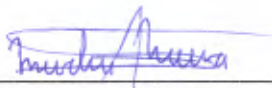
---

Ing. Marcos Rodríguez Mora, M.Sc.  
Miembro del Comité Asesor



---

Ing. Erick Mata Abdelnour, Ph.D.  
Miembro del Comité Asesor



---

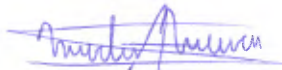
Marlon Alfredo Morera Sancho  
Sustentante

## DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Fecha: 10 de junio de 2016

Yo Marlon Alfredo Morera Sancho, cédula 6-0396-0056, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné A94291; manifiesto que soy autor del Proyecto Final de Graduación titulado *Propuesta técnica para la reducción de huella de carbono en un edificio de un laboratorio de ensayos*, bajo la dirección de la ingeniera Flor de María Muñoz Umaña, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Así mismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.



**Nota:** De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); “no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales”. Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto de graduación a Dios, guía y padre de mi vida y mis metas; a mis padres y a mi hermana, porque gracias a ellos soy quien soy hoy en la vida; y a mis más sinceros amigos, compañeros de trabajo y demás personas que quiero y aprecio, los cuales me han dado todo su apoyo en este gran objetivo de hacer realidad un sueño.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco plenamente a Dios por haberme mantenido siempre con la fe y la convicción necesarias para llegar a cumplir este sueño; a mi familia que ha estado siempre presente, brindándome su apoyo y amor incondicional; a mi tutora por su enorme colaboración y dedicación en todo el proceso de este trabajo; a mis asesores por haberme acompañado en este proceso hasta la culminación de una de mis mayores metas; a la institución del LanammeUCR que me abrió la puertas para que este proyecto fuese posible; y a todas aquellas demás personas que me colaboraron para que este proyecto se convirtiera en realidad; a todos mi más sincero agradecimiento.

## Índice

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Justificación .....	1
1.1.1 Problema específico .....	1
1.1.2 Importancia .....	2
1.1.3 Antecedentes .....	3
1.2 Objetivos .....	6
1.2.1 Objetivo general.....	6
1.2.2 Objetivos específicos.....	6
1.3 Hipótesis.....	7
1.4 Delimitación del problema .....	7
1.4.1 Alcance .....	7
1.4.2 Limitaciones .....	9
1.5 Metodología .....	9
1.5.1 Fase teórica .....	11
1.5.2 Fase de planeación.....	11
1.5.3 Fase experimental y generación de propuestas .....	12
1.5.4 Fase de análisis final y conclusiones .....	13
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1 Introducción .....	14
2.2 Huella de carbono .....	22
2.3 Eficiencia energética .....	27
2.4 Metodologías para el cálculo de la HC .....	29
2.5 Referencias normativas.....	34
2.5.1 Normas orientadas al enfoque de producto y edificaciones .....	35
2.5.2 Normas orientadas al enfoque de ACV y organizaciones .....	38
2.5.3 Normas orientadas a la C-Neutralidad.....	40
CAPÍTULO 3. ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO PARA LA CONDICIÓN ACTUAL.....	41
3.1 Caso de estudio .....	41
3.2 Consumos energéticos del edificio .....	54

3.3	Estimación de la huella de carbono para la condición actual .....	62
CAPÍTULO 4. PROPUESTA TÉCNICA Y ESTIMACIÓN DE LA NUEVA HUELLA DE CARBONO.....		64
4.1	Propuesta técnica.....	64
4.1.1	Equipos de laboratorio.....	65
4.1.2	Sistemas de aires acondicionados.....	67
4.1.3	Sistema de luminarias .....	69
4.1.4	Fuente energética solar.....	72
4.2	Estimación de la nueva huella de carbono.....	76
4.3	Estimación del costo de la implementación de la propuesta .....	79
4.4	Propuesta técnica y concordancia con la norma RESET.....	80
4.5	Metodología obtenida e implementada .....	83
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		88
5.1	Conclusiones.....	88
5.2	Recomendaciones .....	91
FUENTES BIBLIOGRÁFICAS .....		93
APÉNDICES .....		A-1
Apéndice A. Inventario de la información recolectada.....		A-1
Apéndice B. Memoria de cálculo de la estimación del consumo energético .....		B-1
Apéndice C. Criterios de evaluación de la norma RESET.....		C-1

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Representación esquemática de la metodología general a seguir para el proyecto: <i>Propuesta técnica para la reducción de la huella de carbono en un edificio de un laboratorio de ensayos</i> .....	10
Figura 2. 1. Escenarios a futuro de la huella ecológica con el transcurso de los años .....	19
Figura 2. 2. Comparación entre la huella ecológica y la biocapacidad para Costa Rica .....	21
Figura 2. 3. Categorías de impacto ambiental a ser consideradas en las metodologías de análisis de ciclo de vida (ACV) y de huella de carbono (HC) .....	23
Figura 2. 4. Metodologías de cálculo de HC más utilizadas en todo el mundo .....	31
Figura 2. 5. Pasos generales a seguir en proyectos de medición de HC .....	32
Figura 3. 1. Ubicación geográfica del edificio del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales ..	42
Figura 3. 2. Distribución espacial de la planta alta del edificio del LanammeUCR .....	43
Figura 3. 3. Distribución espacial de la planta baja del edificio del LanammeUCR .....	44
Figura 3. 4. Bombillos incandescentes del edificio del LanammeUCR .....	45
Figura 3. 5. Fluorescentes del edificio del LanammeUCR.....	46
Figura 3. 6. Lámparas de mercurio del edificio del LanammeUCR .....	47
Figura 3. 7. Aire tipo Piso Cielo instalado en edificio del LanammeUCR .....	48
Figura 3. 8. Aire tipo Mini Split instalado en edificio del LanammeUCR .....	48
Figura 3. 9. Aire tipo Cassette instalado en edificio del LanammeUCR .....	49
Figura 3. 10. Bomba hidráulica, modelo 326 TC, ubicada en el Laboratorio de Modelos Estructurales a Escala Natural del LanammeUCR .....	50
Figura 3. 11. Compresor de aire, modelo 86-D2015/Z, ubicado en Laboratorio de Geotecnia del LanammeUCR	51
Figura 3. 12. Unidad de potencia hidráulica, modelo 505.11-G2, ubicada en el Laboratorio de Modelos Estructurales a Escala Natural del LanammeUCR.....	52
Figura 3. 13. Planta de asfalto, modelo WLB 10 S, ubicada en el Laboratorio de Mezclas Bituminosas del LanammeUCR .....	53
Figura 3. 14. Soplador de aire caliente, modelo AH-751, ubicado en el Laboratorio de Concreto y Agregados del LanammeUCR .....	53
Figura 3. 15. Ciclo de vida de la construcción de acuerdo a la normativa EN 15978:2012 .....	54
Figura 3. 16. Distribución de la energía total mensual consumida a lo largo de un período de un año en el edificio del laboratorio de ensayos .....	59
Figura 3. 17. Distribución de la energía mensual dividida según las categorías de uso en el edificio del laboratorio de ensayos .....	59
Figura 3. 18. Distribución de la energía mensual promedio dividida según las categorías de uso en el edificio del laboratorio de ensayos.....	60
Figura 3. 19. Distribución porcentual de la energía mensual promedio dividida según las categorías de uso en el edificio del laboratorio de ensayos .....	60
Figura 4. 1. Implementación de tragaluces .....	72
Figura 4. 2. Implementación de lumiductos .....	72
Figura 4. 3. Gráfica de rentabilidad de la inversión para el consumo del edificio LanammeUCR .....	74
Figura 4. 4. Comparación entre el consumo energético actual y proyectado, según la propuesta técnica presentada para el edificio del LanammeUCR .....	78
Figura 4. 5. Comparación entre la huella de carbono actual y nueva, según la propuesta técnica presentada para el edificio del LanammeUCR.....	78
Figura 4. 6. Metodología obtenida para medición de huella de carbono en edificios con enfoque de producto .	84



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2. 1. Consumo, en porcentaje, del total de energía durante la vida útil de un edificio, según etapa .....	27
Cuadro 3. 1. Consumo energético total más reciente del edificio (laboratorio de ensayos) en un período de un año.....	57
Cuadro 3. 2. Consumo energético obtenido para el edificio (laboratorio de ensayos) referente a sistemas de iluminación .....	58
Cuadro 3. 3. Consumo energético obtenido para el edificio (laboratorio de ensayos) referente a sistemas de aires acondicionados .....	58
Cuadro 3. 4. Consumo energético obtenido para el edificio (laboratorio de ensayos) referente a equipos de oficina y laboratorio .....	58
Cuadro 3. 5. Consumo energético en el edificio (laboratorio de ensayos), en atención a dos categorías de uso, según la norma EN 15978:2012.....	61
Cuadro 3. 6. Emisiones de GEI del edificio del LanammeUCR en un período de un año .....	62
Cuadro 4. 1. Ahorro y retorno de la inversión para el consumo del edificio LanammeUCR .....	75
Cuadro 4. 2. Detalle de presupuesto para inversión a futuro del edificio del LanammeUCR .....	79
Cuadro 4. 3. Oportunidades de mejora para el proyecto en estudio según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012).....	82
Cuadro Apéndice A. 1. Inventario de luminarias de la planta baja del edificio .....	A-1
Cuadro Apéndice A. 2. Inventario de luminarias de la planta alta del edificio.....	A-3
Cuadro Apéndice A. 3. Inventario de equipos de aires acondicionados .....	A-5
Cuadro Apéndice A. 4. Inventario de Laboratorio de Modelos Estructurales a Escala Natural .....	A-6
Cuadro Apéndice A. 5. Inventario de Laboratorio de Concreto y Agregados.....	A-6
Cuadro Apéndice A. 6. Inventario de Laboratorio de Mezclas Bituminosas .....	A-7
Cuadro Apéndice A. 7. Inventario de Laboratorio de Geotecnia.....	A-8
Cuadro Apéndice C. 1. Hoja de contexto del proyecto de edificio del LanammeUCR según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012) .....	C-1
Cuadro Apéndice C. 2. Aspectos socioeconómicos del proyecto evaluado según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012) .....	C-1
Cuadro Apéndice C. 3. Entorno y transporte del proyecto evaluado según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012).....	C-2
Cuadro Apéndice C. 4. Calidad y bienestar del proyecto evaluado según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012).....	C-3
Cuadro Apéndice C. 5. Suelos y paisajismo del proyecto evaluado según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012).....	C-4
Cuadro Apéndice C. 6. Materiales del proyecto evaluado según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012) .....	C-5
Cuadro Apéndice C. 7. Optimización en el uso del agua del proyecto evaluado según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012).....	C-5
Cuadro Apéndice C. 8. Optimización de la energía del proyecto evaluado según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012) .....	C-6
Cuadro Apéndice C. 9. Resultados obtenidos del proyecto evaluado según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012) .....	C-6

Morera Sancho, Marlon Alfredo

Propuesta técnica para la reducción de huella de carbono en un edificio de un laboratorio de ensayos  
Proyecto de Graduación - Ingeniería Civil - San José, Costa Rica.:

M. Morera S.; 2016

ix, 96, [3]h; 26 ils. – 53 refs.

## RESUMEN

El cambio climático y sus efectos, es una de las principales preocupaciones a nivel global, el cual está directamente relacionado con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y su constante crecimiento en las últimas décadas. Según el Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC por sus siglas en inglés), en el año 2010 los edificios fueron responsables del consumo de un 32 % de la energía de uso final a nivel global, también, se les atribuye un 30 % de las emisiones de GEI relacionadas al consumo energético y un 19 % de las emisiones GEI a nivel global; por tanto, surge el interés de entender cuál es la situación de los edificios en operación ubicados dentro de la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio con respecto a su huella de carbono y cómo mitigarla. En el caso específico de este trabajo, como punto de partida, se determinó la huella de carbono en un laboratorio de ensayos de materiales para construcción, y se generó una propuesta técnica que guíe hacia la reducción de esa huella de carbono en la fase de operación.

Se investigó y analizó diversas metodologías utilizadas a nivel internacional para la medición de la huella de carbono operacional de un edificio existente, proceso que permitió seleccionar la de reducción de la huella de carbono mediante la aplicación de medidas de eficiencia energética. Se estimó el consumo energético (kWh) desagregado por equipo o categoría de uso y se procedió a estimar la huella de carbono mediante la metodología de CO<sub>2-eq</sub>, para lo cual, se utilizaron los factores de emisión (FA) emitidos por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Con esto como referencia, se generó una propuesta técnica orientada hacia la reducción de ese consumo y se estimó el costo de su implementación.

Actualmente el edificio en estudio consume alrededor de 299 880 kWh al año, lo que genera una huella de carbono anual de 35,09 t CO<sub>2-eq</sub>. De llegar a implementarse la propuesta que se desarrolló, el consumo energético podría reducirse hasta en un 35 %, lo que repercute en una disminución de la huella de carbono a un valor de 22,94 t CO<sub>2-eq</sub>. Para ello, la inversión a realizar es alrededor de catorce millones de colones (¢14 000 000,00), la cual es recuperable en aproximadamente 21,5 meses. M.A.M.S.

HUELLA DE CARBONO, CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE, CONSUMO ENERGÉTICO

Directora

Ing. Flor de María Muñoz Umaña, M.Ing., I.C.

Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica

Morera Sancho, Marlon Alfredo

Propuesta técnica para la reducción de huella de carbono en un edificio de un laboratorio de ensayos  
Proyecto de Graduación - Ingeniería Civil - San José, Costa Rica.:

M. Morera S.; 2016

ix, 96, [3]h; 26 ils. – 53 refs.

### ABSTRACT

Climate change and its effects, is one of the main concerns at the global level, which is directly related to the emissions of greenhouse gases (GHG), and its continuing growth in recent decades. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), in the year 2010 the buildings were responsible for the consumption of a 32 % of the end-use energy at the global level, too, are given an 30 % of GHG emissions related to energy consumption and 19 % of the GHG emissions at the global level; therefore, arises the interest to understand what is the state of the buildings in operation located within the University City Rodrigo Facio with regard to its carbon footprint and how to alleviate it. In the specific case of this work, as a starting point, it was determined the carbon footprint in a testing laboratory of materials for construction, and generated a technical proposal to guide toward the reduction of the carbon footprint in the phase of operation.

It was investigated and analyzed various methodologies used at the international level for the measurement of the operational carbon footprint of an existing building, process that allowed to select the reduction of the carbon footprint through the implementation of energy efficiency measures. It was felt the energy consumption (kWh) disaggregated by equipment or category of use and proceeded to estimate the carbon footprint through the methodology of CO<sub>2-eq</sub>, for which it used the emission factors (FA) issued by the National Meteorological Institute (IMN). With this as reference, generated a technical proposal oriented toward the reduction of that consumption and estimated the cost of its implementation.

Currently the building in study consumes around 299 880 kWh per year, which generates an annual carbon footprint of 35,09 t CO<sub>2-eq</sub>. Arriving to be implemented the proposal to be developed, the energy consumption could be reduced by up to 35 %, which results in a decrease of the carbon footprint to a value of 22,94 t CO<sub>2-eq</sub>. To this end, investments to perform is around fourteen million colons (₡14 000 000,00), which is recoverable in approximately 21,5 months. M.A.M.S.

HUELLA DE CARBONO, CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE, CONSUMO ENERGÉTICO

Directora

Ing. Flor de María Muñoz Umaña, M.Ing., I.C.

Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presentan los motivos e importancia que dieron origen a la ejecución de este trabajo, el alcance, las limitaciones que surgieron durante su desarrollo, así como el proceso metodológico seguido para la consecución de los objetivos propuestos.

### **1.1 Justificación**

#### **1.1.1 Problema específico**

Aunado al crecimiento de la población, se consumen importantes cantidades de materiales, combustibles, energía, recursos forestales, entre otros, con el fin de satisfacer necesidades cada vez mayores.

El consumo irracional de los recursos repercute negativamente, de una u otra manera, en el ecosistema, por ejemplo, se modifican los patrones de temperatura y precipitación, que a su vez perturban los patrones de crecimiento o comportamiento de la flora y la fauna.

Esta problemática ha generado que sea necesario estudiar el impacto ambiental provocado por el calentamiento global, teniendo en cuenta la importancia que está cobrando este tema para la supervivencia del planeta. El cambio climático y sus efectos, es una de las principales preocupaciones a nivel global, el cual está directamente relacionado con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y su constante crecimiento en las últimas décadas.

Las emisiones mundiales de GEI causadas por actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial en un 70 % entre 1970 y 2004 (IPCC, 2007). Según cifras del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), las emisiones de dióxido de carbono a nivel mundial, deben reducirse hasta un 85 % por debajo de los niveles del año 2000 para el 2050, con el fin de limitar el aumento de la temperatura global media a 2 °C por encima de los niveles pre-industriales.

Según el IPCC (2015), en el año 2010 los edificios fueron responsables del consumo de un 32 % de la energía de uso final a nivel global, también, se les atribuye un 30 % de las emisiones de GEI relacionadas al consumo energético y un 19 % de las emisiones GEI a nivel global. Se

estima que a mediados del siglo XXI el uso de energía y las emisiones de GEI relacionadas se dupliquen, o incluso se tripliquen. Algunas de las razones que han provocado este aumento, son el constante aumento de la población, la migración hacia las ciudades, y el aumento de la riqueza y mejor calidad de vida.

Un tema asociado, es la huella de carbono (HC), que corresponde a la totalidad de GEI emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto. Si bien, el concentrarse solo en el estudio de la HC, no corresponde a una herramienta holística de evaluación ambiental, la importancia que ha tomado el calentamiento global para las personas, organizaciones y países, ha hecho de las emisiones de GEI, uno de los principales problemas medioambientales a resolver en la actualidad.

El problema a nivel de país hace que la Universidad de Costa Rica como pionera en la educación de Costa Rica, se vea llamada a liderar e impulsar proyectos que desarrollen una mayor cantidad de instrumentos, actividades e investigaciones, destinados a contribuir con la medición y reducción de HC de la institución y del país en general. Esto debe ser parte de una educación de calidad, que permita crear una cultura de aprender a pensar y que además, genere en los individuos la participación social necesaria para realizar los cambios que el mundo actual requiere.

### **1.1.2 Importancia**

El sector de la construcción y la industria asociada, son responsables de consumos e impactos muy significativos en nuestro entorno. Estos consumos e impactos se producen durante la extracción de materias primas, con su transformación en procesos industriales, durante la construcción de los edificios, a lo largo de su vida útil con su utilización y mantenimiento, y también al final de esta en caso de reconstrucción del edificio. Todo ello implica un complejo proceso en el que son múltiples los agentes que intervienen y múltiples los factores a considerar para alcanzar mejoras efectivas.

A nivel internacional, tomando en cuenta la inmensa diversidad entre países, con diferentes normativas, materiales y sistemas constructivos, y con consumos e impactos diferentes, se obtiene consenso respecto a algunos datos que son realmente preocupantes (Casanovas, 2009):

- El 60 % de los materiales que se extraen de la litósfera, tienen como destino la construcción.
- El 50 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera tienen su origen en la construcción y uso de los edificios.
- El 40 % de la energía primaria consumida en el planeta y el 75 % de la electricidad que se destina tiene como objetivo los edificios.
- El 20 % del agua dulce es consumida en el uso de los edificios.
- El 60 % de los residuos sólidos se producen en la construcción y reconstrucción de los edificios.

Ante el inminente déficit ecológico y la alta demanda sobre los ecosistemas, se encuentran las razones para llevar a cabo este proyecto de graduación, tema en el cual es de suma importancia, tomar conciencia acerca del impacto que cada uno genera en el planeta con sus acciones y actividades, desde el profesional que puede influir en decisiones directas, hasta el ciudadano que puede y debe estar informado acerca de cómo contribuir a evitar la emisión de GEI.

Institucionalmente, la Universidad de Costa Rica también adquiere un compromiso serio, en el cual se pretende implementar y liderar mediante proyectos y políticas medio ambientales, la contribución a la reducción de la HC. En el caso específico de este trabajo, se estudia uno de los edificios de laboratorio de ensayos en estado operativo de este centro de enseñanza superior, con el fin de generar y proponer una metodología de trabajo a seguir en otros edificios, de manera que, se identifiquen las fuentes de generación de GEI y se propongan medidas para mitigar la HC, en cada caso.

### **1.1.3 Antecedentes**

En el año 2007, el expresidente de Costa Rica, Óscar Arias Sánchez, publicó una iniciativa a nivel nacional llamada "Paz con la Naturaleza", en la que se propuso llegar a la meta de ser el primer país carbono neutral, siempre que no se interfiriera con el desarrollo y bienestar de los habitantes. A partir de esta iniciativa, se creó una sección del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), conocida como "Estrategia Nacional de Cambio Climático" (ENCC), donde se plantea el objetivo de lograr una economía neutra (C-Neutralidad) en emisiones de carbono para el año 2021. Dicho esfuerzo ha conllevado una transformación en

los sistemas productivos, en los mecanismos financieros y en la estructura del país, de modo que el país avance hacia un modelo de desarrollo bajo en emisiones.

A partir de marzo de 2010, Costa Rica se ha comprometido y propuesto a llevar a cabo el Proyecto NEEDS (National Economic, Environment and Development Study for Climate Change Project) como iniciativa apoyada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés). Su principal esfuerzo se centra en el análisis de sectores y proyectos específicos que puedan contribuir con la mitigación de GEI.

A nivel cantonal, cantones como San Ramón, Cartago (cantón central), Zarcero, San Rafael (Heredia), Cañas, Dota, entre otros, tomaron la iniciativa de ser carbono neutral, por lo que han formado comisiones y convenios para financiar los proyectos que contrarresten su huella de carbono.

A nivel empresarial, se certificaron las primeras ocho empresas bajo la norma de INTECO (INTE 12-01-06:2011) que valida la C-Neutralidad (carbono neutralidad): BAC Credomatic Costa Rica, Distribuidora Centroamericana Florex, Café Britt Costa Rica, Euromobilia, Mapache Rent a Car, Travel Excellence, Servicios Ambientales Geocycle del Grupo Holcim y Grupo Purdy Motor (Estado de la Nación, 2013).

En la Universidad de Costa Rica, a pesar de que la implementación de medidas ambientales nace desde 1970 y son palpables hasta la década de 1990, no fue hasta el año 2006 cuando la Rectoría decide establecer el Programa Institucional de Gestión Ambiental Integral (ProGAI), como ente aglutinador de acciones académicas, administrativas e investigativas en materia ambiental. Para lograr una efectiva implementación de la gestión ambiental se requería de un sistema ágil, apto y viable; y es por ello, que el ProGAI en conjunto con otros entes, promueve la creación del Sistema de Gestión Ambiental Integral (SiGAI), como organismo encargado de forjar la operatividad de la gestión ambiental dentro de la universidad.

Desde entonces, los principales logros del SiGAI comprenden la determinación y validación de una metodología para identificar y evaluar aspectos ambientales sistémicos; el estudio de estos en unidades prioritarias; la generación de instructivos de gestión de residuos y residuos ordinarios y peligrosos; la implementación inicial del plan institucional de gestión de sólidos

reciclables; la evaluación de los centros de alimentación; y la ejecución de una política de compras “verdes” para sustituir gradualmente los productos no amigables ambientalmente.

En cuanto a la política de compras verdes, se conformó la Comisión de Compras Verdes desde el 2009, integrada por la Oficina de Suministros y los Gestores Ambientales. Con ello, se logró integrar la compra de bolsas plásticas oxo-biodegradables así como productos de limpieza biodegradables. Además, se desarrolló un catálogo de productos amigables con el ambiente, así como la identificación de aspectos ambientales que se pueden incluir en carteles de licitación para la compra de artículos en las siguientes categorías: equipo de cómputo, equipos de oficina, impresión y reproducción, limpieza, suministros de oficina, vehículos, servicios de alimentación, publicidad y servicios de vigilancia (Salazar, s.f.).

Otro hecho importante, se dio en el año 2011, en el que se creó la Comisión Institucional UCR Carbono Neutro, compuesta por representantes de diferentes instancias universitarias, con el compromiso de acompañar al país en la meta de ser una nación carbono neutro para el año 2021. Como parte de ese objetivo, se han impulsado diversas metas a corto, mediano y largo plazo por parte de la Universidad.

A corto plazo (desde inicio de proyecto hasta el año 2014), se realizó un monitoreo de la cantidad de dióxido de carbono utilizada para el suministro de electricidad de la UCR; además, se inició una campaña para la implementación de un plan de separación y reciclaje de los materiales en desuso y un mejor aprovechamiento de desechos orgánicos. A mediano plazo (hasta el año 2016), se ha tenido como fin, crear conciencia en toda la población universitaria sobre la importancia de ese proyecto, y de esa manera, fomentar proyectos de investigación que permitan la reducción de GEI (como es este el caso). Por último, a largo plazo (hasta el año 2019), se pretende ejecutar un plan de reforestación que permita incrementar la cobertura vegetal, recapturar los gases de enfriamiento, tener un mejor manejo de los desechos sólidos, reducir el desperdicio eléctrico y reducir los viajes laborales en avión de funcionarios, estudiantes y visitantes (Mora, 2015).

Entre los proyectos específicos a nivel institucional de la Universidad de Costa Rica, destacan distintos proyectos de graduación en los cuales se han tratado temas relacionados a HC y construcción sostenible. Se tienen por ejemplo, el trabajo de Araya (2007), quien expuso una lista de prácticas para reducir los desperdicios generados en la construcción, y realizó un



análisis sobre sistemas de evaluación de edificios sostenibles tales como: SPIRIT, BREEAM, CASBEE, Green Star, BG Tool y la certificación LEED; Dimarco (2008), quien desarrolló una propuesta que le permite a la sección de transportes de la UCR disminuir el egreso por consumo y la emisión de GEI derivados de la flota vehicular; Castro (2012), quien tomó en cuenta la HC para la construcción de una delegación policial; y Gutiérrez (2012), quien realizó una propuesta de diseño para una vivienda sostenible.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Determinar la huella de carbono en un laboratorio de ensayos de materiales para construcción, y generar una propuesta técnica que guíe hacia la reducción de esa huella de carbono en la fase de operación.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- a) Realizar un diagnóstico de la condición actual del laboratorio para obtener información sobre sistemas de iluminación, ventilación, sistemas electromecánicos, u otros, que permita detectar posibles puntos de mejora.
- b) Identificar herramientas actuales para el cálculo de la huella de carbono, con el fin de seleccionar aquella con mayor viabilidad de aplicación al caso de estudio, y proceder a calcular la huella del edificio para la condición actual.
- c) Elaborar una propuesta técnica de costo razonable para la edificación, que guíe hacia la reducción de la huella de carbono en la fase de operación, y proceder a estimar la nueva huella del edificio para la condición futura.
- d) Estimar el costo de implementación de la propuesta.
- e) Relacionar los Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico (RESET), capítulo 13: Optimización de la energía (norma INTE 06-12-01:2012), con la propuesta técnica generada para el edificio.

### 1.3 Hipótesis

Se partió de la hipótesis de que, a pesar de que en Costa Rica no hay aún herramientas propias para estimar la huella de carbono de un edificio en operación, es posible lograr un estimado adecuado utilizando herramientas disponibles actualmente en el mercado; en adición, los cambios propuestos se pueden cuantificar para determinar la reducción en la huella de carbono de la edificación.

### 1.4 Delimitación del problema

#### 1.4.1 Alcance

El trabajo se enfocó en la determinación de la huella de carbono actual en la **fase de operación**, en el edificio del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), ubicado dentro de la Sede Universitaria Rodrigo Facio, y en la generación de una propuesta técnica tendente a reducir esa huella en la fase de operación (mejorar el estándar actual).

En la **fase de operación** se consideró en específico el estudio del consumo energético en el edificio por dos razones esenciales:

- i. A partir del año 2011, con la creación de Comisión Institucional UCR Carbono Neutro, se implementó un monitoreo de la cantidad de dióxido de carbono utilizada para el suministro de electricidad de la UCR, una campaña para la implementación de un plan de separación y reciclaje de los materiales en desuso y un mejor aprovechamiento de desechos orgánicos, un plan para la reforestación, así como una campaña de concientización de los funcionarios y población estudiantil para reducir el consumo de energía; otro aspecto que ha sido analizado en la UCR es el consumo de combustible asociado al uso de medios de transporte. Por tanto, con este trabajo se aportaría una metodología para el cálculo de la huella de carbono de un edificio con la idea de que se pueda replicar en otros edificios; así se contribuiría con este proceso hacia la meta de carbono – neutralidad UCR, al aportar en un campo de interés institucional poco desarrollado, como es el consumo de energía en la fase de operación de un edificio.

- ii. El consumo energético durante la fase de operación del edificio es el que genera más impacto. Si bien, en la fase de operación se debe contemplar fundamentalmente: el consumo de energía, el consumo de agua potable, la generación de aguas residuales, la generación de residuos sólidos y el mantenimiento; solo se consideró el estudio del consumo de energía por cuanto estudios a nivel internacional han revelado que el 90 % de la emisión de gases durante la fase de operación se deben a este consumo.

En términos del consumo energético, se centró la atención en luminarias, sistemas de aires acondicionados, equipos de oficina y laboratorio. Se estimaron las emisiones de gases de efecto invernadero de acuerdo a los datos de consumo y uso del edificio en estudio, suministrados por las instancias correspondientes de la Universidad de Costa Rica.

No se incluyó como parte del alcance de este trabajo la generación de la huella de carbono asociada al uso de los vehículos, pues el foco de atención fue el consumo energético propiamente del edificio.

En la propuesta generada no se realizó algún tipo de diseño estructural o electromecánico. Únicamente se recomendó la realización de estos estudios, en los casos en que se llegara a determinar la necesidad de intervención de los equipos.

Se tomaron como puntos de referencia las normas nacionales INTE 06-12-01:2012: *RESET- Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico*, e INTE 12-01-06: 2011/Cor.2:2013: *Norma nacional para demostrar la C- neutralidad. Requisitos*, la norma internacional adaptada INTE-ISO TS 14067:2015: *Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para cuantificación y comunicación*, basada a su vez en las normas INTE-ISO 14044:2007: *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices*, y PAS 2050:2011: *Verificación de la Huella de Carbono*, PAS 2060:2010: *Especificación para la Neutralidad de Carbono*; y las normas europeas EN 15804:2012 + A1:2013: *Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción*, y EN 15978:2011: *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo*.

El estimado de costos se realizó considerando precios actuales (sin considerar ningún tipo de proyección a fin de estimar el costo en el futuro), comprendiendo únicamente lo referente a nuevos equipos de laboratorio.

### **1.4.2 Limitaciones**

El grado de detalle estuvo sujeto a la información a la que se tuvo acceso, por lo que existió una limitante en cuanto al inventario de aquellos equipos de laboratorio que:

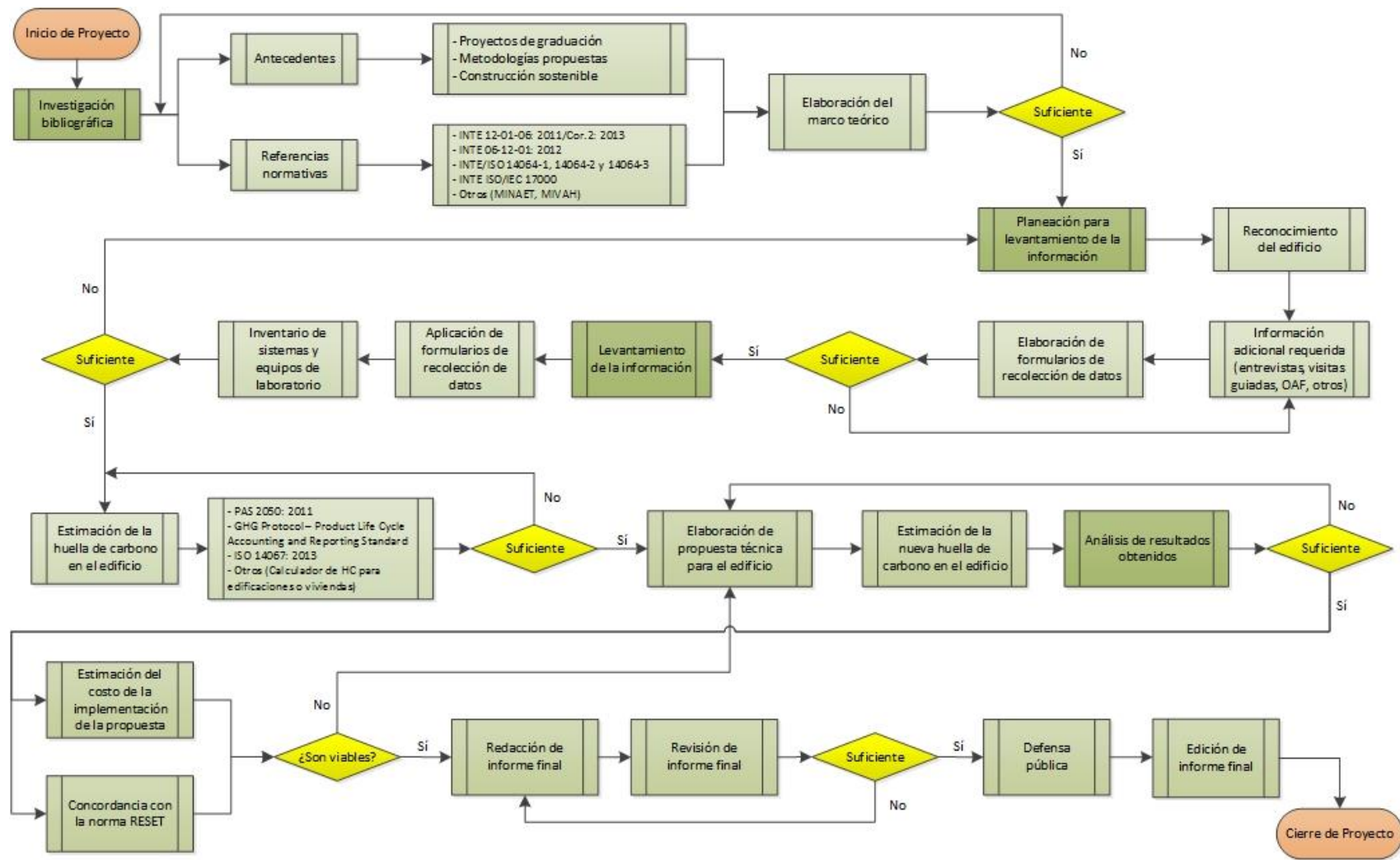
- i) Por ser equipos muy viejos, no contaban con placas, o las mismas estaban muy borrosas, o carecían de la información necesaria, lo cual no permitía conocer la potencia de cada uno de los equipos, y por ende no se podía estimar el consumo energético.
- ii) Por ser complejos y delicados, estaban calibrados y no se podían manipular, por lo que no se podía medir su consumo energético.

Es por ello que, a nivel de detalle del registro de la información, no se realizó un inventario del total de equipos de laboratorios, sin embargo, a nivel de estimaciones e información global de los equipos de laboratorio, si se obtuvo la información requerida para calcular la huella de carbono total y de dicha categoría.

Debido a que en nuestro país el desarrollo de un calculador de huella de carbono está apenas en proceso, no se contó con una base de datos a nivel nacional que relacione, por ejemplo, los materiales con la emisión de CO<sub>2</sub>.

## **1.5 Metodología**

La metodología seguida para la ejecución del proyecto, se muestra en la Figura 1.1.



**Figura 1. 1.** Representación esquemática de la metodología general a seguir para el proyecto:  
*Propuesta técnica para la reducción de la huella de carbono en un edificio de un laboratorio de ensayos*

**Fuente:** Morera, 2015

La metodología utilizada para el proyecto fue de tipo exploratoria y deductiva, pues fue necesario tanto la investigación documental como el estudio en sitio en el que se desarrolló el proyecto, con el fin de poder determinar la huella de carbono en el edificio y proveer de una propuesta técnica que permita disminuir dicha huella de carbono en la fase de operación del edificio.

El proceso metodológico se dividió en cuatro etapas principales, a saber:

### **1.5.1 Fase teórica**

Esta correspondió a la fase inicial del proyecto, la cual comprendió una consulta bibliográfica exhaustiva en la que se indagó en diferentes fuentes bibliográficas (internet, libros, trabajos de graduación, otros). Se revisaron antecedentes a nivel nacional e internacional, y metodologías propuestas relacionadas con temas de análisis de ciclo de vida, reducción de huella de carbono y construcción sostenible. Se realizó además, consulta de referencias normativas nacionales e internacionales, de instituciones tales como INTECO, ISO, MINAET, MIVAH u otras, con el fin de conocer las leyes que rigen el marco institucional dentro del que se desarrolla este proyecto. A partir de esos insumos, se realizó la elaboración del capítulo introductorio así como del marco teórico.

### **1.5.2 Fase de planeación**

En esta fase se recolectó la información necesaria para llevar a cabo la fase experimental. Para ello, fue sumamente importante, el contacto y la disponibilidad que ofreció el personal (equipo técnico de mantenimiento electromecánico) del LanammeUCR. Con su colaboración, se realizaron varias visitas guiadas alrededor de la edificación, que permitieron observar todo lo que conlleva su estudio (tamaño, ubicación, materiales, características, operación), así como, determinar las fuentes de consumo energético del mismo (sistemas, laboratorios y equipos actuales del edificio). A partir de la información identificada, se implementaron hojas de trabajo y formularios, que se ajustaron para dividirse en tres tipos de inventarios, orientados hacia las siguientes categorías: sistemas de iluminación, aires acondicionados, y equipos de laboratorio; en los que se definió la información necesaria a recolectar en cada uno de ellos (cantidad de

luminarias, unidades de aires acondicionados, potencia de equipos, ubicación, horas de uso diario, etc.), para avanzar a la siguiente etapa.

Como complemento a las visitas y formularios realizados para el edificio del LanammeUCR, se recurrió también a la Oficina de Administración Financiera (OAF) y posteriormente a la Vicerrectoría de Administración, con el fin de solicitar el registro histórico de consumo energético de los últimos meses del edificio del LanammeUCR, de manera que se contó no solo con la información necesaria para estimar el consumo por categoría, sino que también, con el consumo total real del edificio, que permitió calcular la huella de carbono en la siguiente etapa.

### **1.5.3 Fase de campo y generación de propuestas**

Esta fase dio inicio con la visita a sitio para la aplicación de los formularios de recolección de datos. En distintas visitas que se realizaron, se recopiló toda la información referente a cantidad y características de los sistemas energéticos de la edificación (iluminación, aires acondicionados, equipos de laboratorio), y su horario común de aplicación. A partir de dicha información, se estimó el consumo energético (kWh) desagregado por categoría de uso (y los porcentajes asociados a cada categoría), así como, el consumo total anual del edificio en estudio. Una vez que se tuvieron dichos datos de consumo, se procedió a estimar la huella de carbono mediante la metodología de CO<sub>2</sub>-eq, para lo cual, se utilizaron los factores de emisión (FA) emitidos por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN).

Seguidamente, se generó la propuesta técnica que comprende una serie de recomendaciones generales a aplicar en el corto plazo, así como la posible introducción de nuevas tecnologías en el largo plazo, en cada una de las categorías (iluminarias, aires acondicionados, equipos de laboratorio). Adicionalmente, se planteó el análisis de considerar la fuente energética solar como una alternativa para reducir el consumo energético del edificio, mediante la implementación de paneles solares, y según las recomendaciones planteadas. Finalmente, con base en la propuesta planteada a largo plazo, se estimó la nueva huella de carbono y la reducción que se daría de llegar a implementarse.

#### **1.5.4 Fase de análisis final y conclusiones**

En esta fase se hizo una revisión exhaustiva del trabajo desarrollado con el fin de detectar cualquier posible error u omisión que se hubiera dado durante el estudio. Además, anteriormente, se habían obtenido las mediciones de huella de carbono actual y nueva, por lo que en esta fase se compararon y analizaron los resultados obtenidos, mediante herramientas estadísticas (gráficas y porcentajes), con el fin de visualizar qué tanto se reducían los consumos energéticos y con ello la huella de carbono a futuro.

También se determinó qué tan viable resultaría la implementación de la propuesta con respecto a la inversión en nuevas tecnologías, estimando el tiempo de recuperación de inversión de la misma. Para ello, se estimó un costo unitario por kWh de consumo, y tomando el ahorro energético anual ya estimado, se calculó el costo que se podría ahorrar anualmente de llegar a implementarse la propuesta. Dicho ahorro se comparó contra la inversión a realizar, y con ello se estimó el tiempo que se tardaría en recuperar la inversión propuesta.

Finalmente, se revisó la concordancia de la norma INTE 06-12-01:2012: Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico (RESET), capítulo 13: Optimización de la energía, con la propuesta técnica desarrollada para la reducción de la huella de carbono del edificio en la fase de operación. Se aplicó a la edificación la hoja de contexto que brinda la norma para determinar el grado de impacto que genera y las oportunidades de mejora.



## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se exponen las definiciones básicas utilizadas en este trabajo para referirse a temas como Huella Ecológica (HE), Huella de Carbono (HC) y eficiencia energética (EE). Además, se hace referencia a metodologías existentes a nivel internacional para calcular la huella de carbono, que sirven de base para seleccionar aquella que se considera tiene mayor aplicabilidad en nuestro medio.

### **2.1 Introducción**

Este trabajo se enmarca dentro de lo que es el desarrollo sostenible, definido como aquel desarrollo que es capaz de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos y posibilidades de las futuras generaciones (Brundtland, 1987 citado por Acevedo, s.f.). Esto guarda estrecha relación con las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se encuentran presentes en la atmósfera terrestre.

Los GEI tienen un efecto en el aumento de la temperatura del aire próximo al suelo, lo que permite que la atmósfera permanezca en un rango de valores aptos para la existencia de vida en el planeta. Los GEI más importantes son el vapor de agua, el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ), el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), los clorofluorocarbonos (CFC) y el ozono ( $\text{O}_3$ ). De estos, es particularmente importante el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), al ser el principal gas emitido por las actividades humanas, producto de la acción antropogénica como la quema de combustibles fósiles y materia orgánica en general (lo cual representa aproximadamente un 80 % de las emisiones producidas por el hombre), y por procesos industriales como la fabricación de cemento (Navarro, 2008).

Los estudios de GEI pretenden confrontar el problema de la contaminación que a través de la historia ha ido en aumento. A partir de la Revolución Industrial o Primera Revolución Industrial (1760 a 1840), se da un cambio en la producción y consumo de bienes que conlleva a la aplicación de la energía de la naturaleza (se da la transición entre los trabajos que antes eran artesanales y rudimentarios a los mecanizados), que a su vez da lugar al inicio de la aceleración de la degradación del medio ambiente.

No es sino hasta el año 1972 en la llamada Conferencia de Estocolmo (también llamada Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano) que se llevó a cabo en Suecia, en que se establece la necesidad de alcanzar un “desarrollo sostenible”. En ella hubo participación de 113 representantes de distintos países, y es ampliamente reconocida como el comienzo de la conciencia política y pública de los problemas ambientales (Ecología Hoy, 2011).

En el año 1987, en el Informe Brundtland (libro “Nuestro Futuro Común” como nombre original), se concluyó que el camino que la sociedad global había tomado estaba destruyendo el ambiente y dejando a cada vez más gente en la pobreza y la vulnerabilidad. Es por ello que se optó por definir la estrategia del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), sentando así las bases para celebrar la cumbre de Río en 1992.

De acuerdo a Centeno (2015), en su material “Historia de la protección del medio ambiente”, la Cumbre de Río (también llamada Cumbre de la Tierra), realizada el 3 de junio de 1992 en Río de Janeiro, esta Cumbre representó el inicio en el tema de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. En esta reunión, se firmó el primer tratado donde 180 países se comprometieron a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono equivalente) y así los efectos negativos del cambio climático. Además, se establecieron los principios básicos del desarrollo sostenible, la “Agenda 21”, convenio sobre cambio climático, convenio sobre diversidad, acuerdo sobre la desertificación y declaración sobre principios de los bosques.

Luego, se realizaron las primeras dos cumbres internacionales sobre el cambio climático, en Berlín, Alemania (28 de marzo al 7 de abril de 1995) y en Ginebra, Suiza (8 al 19 de julio de 1996) conocidas como COP1 y COP2 respectivamente (Conference of Parties, por sus siglas en inglés); sin embargo, en estas no se definieron metas cuantitativas para la reducción de emisión de gases de efecto invernadero.

En 1997, se realizó la III sesión de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP3): La Cumbre de Kioto (Japón). A diferencia de las cumbres anteriores, esta vez se logró establecer un documento conocido como Protocolo de Kioto, en el cual los países industrializados (excepto Estados Unidos, que no aceptó el protocolo) se comprometieron a reducir las emisiones de GEI, con el fin de frenar el calentamiento global. Se considera como el primer paso importante hacia un régimen verdaderamente mundial de reducción y estabilización de las emisiones de GEI.

En el año 2002, se realizó la cumbre "Río+10" en Johannesburgo, Sudáfrica, como recordatorio de haberse cumplido 10 años posteriores a la primera cumbre de la tierra. En ella se renovaron los compromisos de Río de Janeiro y se desarrollaron 5 temas clave: agua y sanidad, energía, agricultura, biodiversidad y salud.

Más recientemente, en el año 2012, se celebró la cumbre "Río+20", que tuvo lugar en Río de Janeiro, Brasil, en la cual se estableció un borrador con compromisos ambientales, y se elaboró un documento titulado "El futuro que queremos", que incluyó dos temas principales: cómo construir una economía ecológica para lograr el desarrollo sostenible y sacar a la gente de la pobreza, y cómo mejorar la coordinación internacional para el desarrollo sostenible. (Naciones Unidas, s.f.).

La última conferencia realizada fue la vigésima primera y tuvo lugar en París, Francia en diciembre de 2015. Esta conferencia concluyó con la adopción de un acuerdo histórico para combatir el cambio climático e impulsar medidas e inversiones para un futuro bajo en emisiones, resiliente y sostenible. El objetivo principal es mantener el aumento de la temperatura en este siglo muy por debajo de los 2 grados centígrados para limitar el aumento de la temperatura (UNFCCC, 2015).

A nivel más regional e institucional, Hevia (2014) menciona que existen también empresas y fundaciones que se han propuesto calcular y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>-eq, por medio de proyectos más ambientales. El Ministerio del Medio Ambiente en Chile fue la primera organización gubernamental en medir las emisiones asociadas a su operación a lo largo de todo el país. Empresas como Gerdau-Aza de aceros, Empresas COPEC, y la empresa minera Collahuasi, entre otras, han transparentado la carga ambiental de sus productos en ese mismo país, mediante los kg de CO<sub>2</sub>-eq, es decir, mediante la huella de carbono.

Una organización que se ha interesado de gran manera en el tema del cálculo de emisiones, es el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), que ha manifestado: "La iniciativa sobre neutralización de carbono del Banco, destaca el compromiso del Banco para abordar el cambio climático reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero a través de medidas eco-eficiencia donde quiera que se puedan aplicar, y compensado aquellas emisiones que sean inevitables" (BID, 2011).

Del trabajo de Castro (2012), se destacan diversas labores realizadas alrededor del mundo. La organización estadounidense Carbonfund.org's ha desarrollado metodologías para el cálculo de emisiones en el ámbito del hogar y oficinas, de manera que de acuerdo a los factores que se determinan, las personas interesadas pueden conocer y compensar sus emisiones.

En España, la fundación CeroCO<sub>2</sub> presenta calculadoras con las que se pueden estimar las emisiones personales. Además, propone la compensación de emisiones de CO<sub>2</sub> por medio de la captación de CO<sub>2</sub> en plantaciones y la conservación de plantas, o bien, mediante la inversión en proyectos que sustituyan actividades que consumen combustibles fósiles, por energías renovables.

En el Reino Unido, la Agencia del Medio Ambiente (Environment Agency, en inglés) desarrolló también una calculadora, la cual ésta orientada a estimar el carbón emitido para actividades de la construcción. Por otra parte, el Departamento de Asuntos de Medio Ambiente, Alimentación y Desarrollo Rural (DEFRA, por sus siglas en inglés) posee información referente a cambio climático, donde destacan los factores de emisión de CO<sub>2</sub>-eq que se han publicado para actividades cotidianas.

Finalmente, en Costa Rica, por medio de la implementación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), se han dado avances entre los que se destacan los siguientes (Estado de la Nación, 2013):

- INTECO desarrolló una normativa nacional en el 2011 que permite a empresas y organizaciones ser declaradas como carbono neutral.
- Se oficializó el Programa País Carbono Neutralidad en 2012 en el cual se definen las reglas y se establece el proceso que una organización debe seguir para ser carbono neutral.
- Actualmente, MINAE otorga el sello de "Marca C-neutral" a las organizaciones que estén dentro del Programa País y hayan sido certificadas mediante la norma nacional (marca registrada ante el registro de la propiedad industrial del Registro Nacional).
- Se diseñó el Mercado Doméstico Voluntario de Carbono (MDVCCR) que propone los elementos clave a nivel institucional, técnico y legal para el establecimiento del mercado de carbono en Costa Rica.

- Se están implementando Medidas Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA's, por sus siglas en inglés) en temas de transporte, energía, residuos sólidos, agricultura, vivienda y café (serie de políticas y acciones para reducir las emisiones de GEI).
- Se inició el Programa Ecoeficiencia Empresarial de AED (Asociación Empresarial para el Desarrollo), con el fin de comprometer y capacitar a personal de las empresas del sector privado en el cumplimiento de la meta carbono neutral.

Los GEI guardan estrecha relación con la huella ecológica, definida por Wackernagel & Rees (1996) como *"el área de territorio ecológicamente productivo (cultivos, pastos, bosques o ecosistemas acuáticos) necesaria para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población dada con un modo de vida específico de forma indefinida"*. Su indicador asociado es impacto ambiental versus superficie utilizada, por tanto, se mide en unidades de superficie (generalmente hectáreas). Como cada terreno en cada lugar del mundo posee una productividad diferente, para poder hacer la comparación de la huella ecológica, se emplea la hectárea global (hag), definida como una hectárea de tierra con la productividad media en el mundo (Tobasura, 2008).

Para el cálculo de la huella ecológica "se calculan las superficies reales de cada tipología de terreno productivo (cultivos, pastos, bosques, mar y terreno urbanizado) disponibles en el ámbito de estudio. La suma de todos ellos es la Capacidad de Carga Local y está expresada en hectáreas por habitante" (Ardisa, 2005, citado por Araya y Bejarano, s.f.). El objetivo principal de la huella ecológica consiste en evaluar el impacto sobre el planeta de un determinado modo o forma de vida y, consecuentemente, su grado de sostenibilidad.

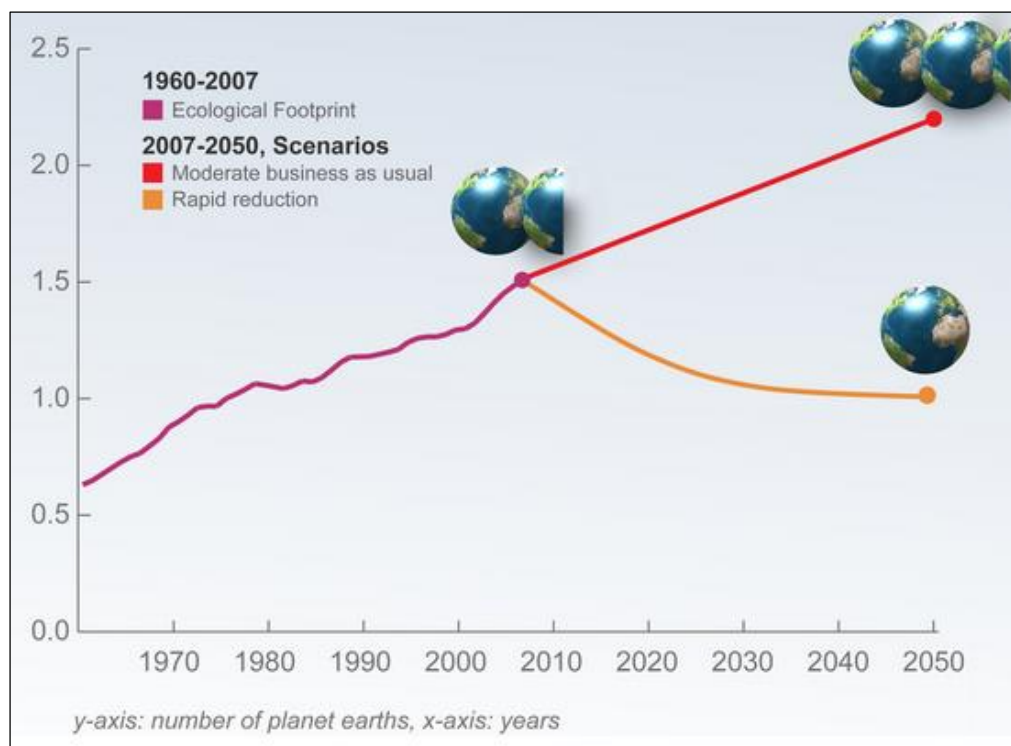
Dentro del marco del concepto general de huella ecológica, se debe destacar el término biocapacidad, el cual se define como la capacidad regenerativa total disponible del planeta para cubrir la demanda representada por la huella ecológica.

A nivel mundial, la huella ecológica suele compararse contra la biocapacidad, con la finalidad de determinar si es posible mantener la absorción de CO<sub>2</sub> y la demanda de recursos renovables de la humanidad. Ambos términos, huella ecológica (demanda de recursos) y biocapacidad (disponibilidad de recursos), se expresan en hectáreas globales (hag).

Durante la década de los años 70, la humanidad a nivel global superó el límite en el que la huella ecológica y la biocapacidad anual de la Tierra estaban equiparadas. La población humana empezó a consumir recursos renovables más rápido de lo que pueden generar los ecosistemas y a liberar más CO<sub>2</sub> de lo que los ecosistemas pueden absorber. Esta situación se denominó “translimitación ecológica” y ha continuado desde entonces (World Wild Foundation, 2010).

Actualmente, según datos del Global Footprint Network, la humanidad utiliza el equivalente de 1.4 planetas cada año, lo cual significa que ahora la Tierra tarda un año y cinco meses para regenerar lo que se utiliza en un año.

Los panoramas moderados de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) sugieren que si las tendencias actuales de la población y el consumo continúan, en la próxima década (alrededor del año 2020) se necesitaría el equivalente de dos planetas Tierra para soportar el consumo de la humanidad. En la Figura 2.1 se muestran los escenarios posibles futuros ante una rápida reducción o ante un consumo moderado y usual de la población.



**Figura 2. 1.** Escenarios a futuro de la huella ecológica con el transcurso de los años

**Fuente:** [www.footprintnetwork.org](http://www.footprintnetwork.org), 2015

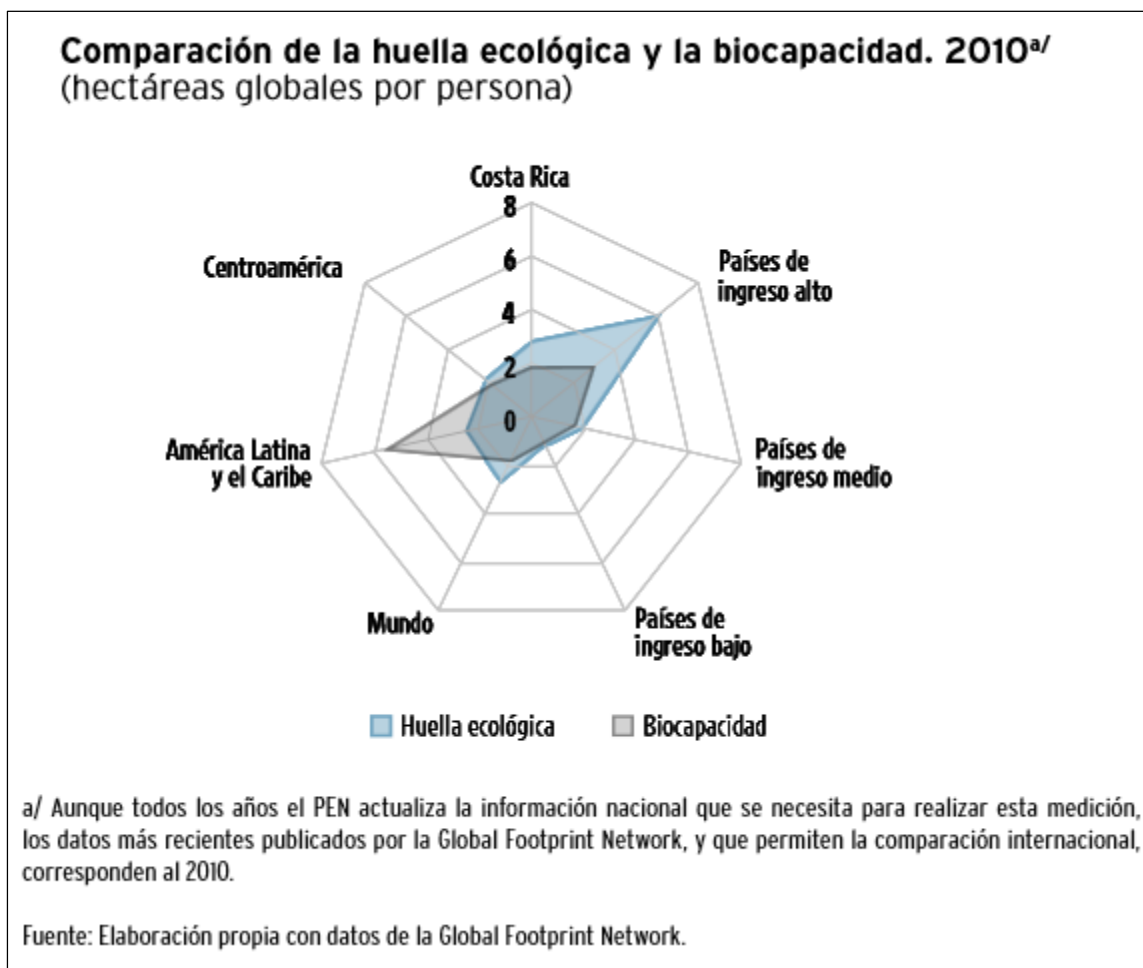
En Costa Rica, si se toma como referencia el indicador de huella ecológica, el Informe del Estado de la Nación (2014), señala que desde hace varios años se ha llegado a la conclusión de que el país mantiene un desequilibrio negativo, es decir, insostenible en sus patrones de uso de los recursos, pese a su sólida base en materia de conservación y protección de ecosistemas.

El seguimiento anual del indicador por parte del Estado de la Nación, ha evidenciado que la brecha entre biocapacidad y huella ecológica tiende a ampliarse. Esto se da en primer lugar, debido a que la huella ecológica crece en gran medida, principalmente por el incremento de las emisiones de carbono que genera el sector transporte, y en segundo lugar, debido a que la biocapacidad disminuye, pues cada año la población aumenta y, por ende, es menor el territorio productivo disponible por persona.

Según el mismo Informe del Estado de la Nación, en Costa Rica, entre los años 2002 y 2009 el sobreconsumo creció de 3 % a 13 % por persona, mientras que, en los últimos años la brecha se mantuvo constante e incluso disminuyó a 11 % en 2011 y a 8 % en 2013. Este comportamiento coincide con la acelerada expansión económica que se registró a inicios de la década anterior y con su posterior disminución, debido al impacto de la crisis financiera internacional. No obstante, también se argumenta que el cambio observado es producto de una reducción en los patrones de consumo de madera y de la recuperación de la cobertura boscosa, junto a la desaceleración en el ritmo de crecimiento de la población.

Al compararlo con países de actividad económica y contexto geográfico similar, y tras una investigación realizada, el Estado de la Nación (2014) concluye indicando que *"Costa Rica tiene un balance ecológico promedio, pero insostenible, pues sus patrones de consumo son semejantes a los de países más grandes, más productivos o con mayor biocapacidad."*

En la Figura 2.2 se muestra el detalle de la información analizada y obtenida por parte del Estado de la Nación, en donde se muestra la comparación entre la huella ecológica y la biocapacidad para Costa Rica, así como también a otros distintos niveles.



**Figura 2. 2.** Comparación entre la huella ecológica y la biocapacidad para Costa Rica

**Fuente:** Estado de la Nación, 2014

Para su interpretación se debe considerar la capacidad productiva del territorio y su ritmo de regeneración natural (biocapacidad) por un lado, versus el uso real que la población hace de ellos (huella ecológica) por el otro. Un balance positivo significaría que la capacidad del territorio es la suficiente para soportar el ritmo de consumo de los recursos, por el contrario, un balance negativo es aquél en el que el ritmo de consumo de los recursos es mayor que la capacidad del territorio; este último es el caso de Costa Rica y de los países de altos ingresos, con la diferencia de que estos últimos (los de altos ingresos) poseen los suficientes recursos económicos para poder invertir a corto plazo en nuevas tecnologías limpias que puedan revertir dicha situación.



## 2.2 Huella de carbono

El impacto ocasionado por el calentamiento global, es consecuencia de los GEI emitidos al ambiente. La herramienta utilizada en su evaluación es la Huella de Carbono (HC), y se define como un *"indicador de la totalidad de Gases de Efecto Invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto"* (Carbon Trust, 2008, citado por Ekotonia Consultores, 2015). La cantidad total de emisiones se expresa en masa (kg o t) de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2e</sub>).

A nivel global, la HC es reconocida como una herramienta eficaz para medir, reducir y divulgar las emisiones de GEI. En forma simplificada, esta se puede considerar también como el resultado de la diferencia entre los gases emitidos y las remociones totales que se cuantifiquen en cuanto a un objeto de estudio.

Diversos países y organizaciones se han involucrado en comprender y atender los impactos negativos que esta problemática produce. Una de las técnicas ampliamente desarrolladas y que es de gran importancia para el cálculo de emisiones de GEI, es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

El ACV trata los aspectos e impactos ambientales potenciales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, desde la adquisición de la materia prima, la producción, utilización, tratamiento final, reciclado, y hasta su disposición final.

En el caso del sector de la edificación, son numerosos los elementos que derivan en una elevada complejidad de la aplicación de esta técnica: la multiplicidad de agentes involucrados, diversidad de materiales, el comportamiento dinámico de sus componentes a lo largo de la vida útil, la variedad de empresas proveedoras, el carácter multifuncional de materiales y sistemas constructivos, entre otros (Rivela, 2012).

Dada la complejidad que surge para desarrollar un análisis tan extenso, se limita el estudio a un alcance más específico, viable y cuantificable, como es el caso de la HC.

La HC representa otra manera de medir el impacto ambiental de un producto. El concepto de HC va más allá de la medición única del CO<sub>2</sub> emitido, ya que se tienen en cuenta todos los GEI que contribuyen al calentamiento global, para después convertir los resultados individuales de

cada gas a equivalentes de CO<sub>2</sub>. Es por ello, que el término correcto corresponde a HC equivalente o emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes.

En términos generales, la HC es una parte de lo que involucra un ACV en el que, en lugar de considerar varias categorías de impacto ambiental al mismo tiempo, se considera únicamente una de ellas, la relativa a calentamiento global, tal como se muestra en la Figura 2.3.

CATEGORÍA DE IMPACTO AMBIENTAL	UNIDAD DE REFERENCIA	FACTOR DE CARACTERIZACIÓN	
CALENTAMIENTO GLOBAL	Kg Eq CO <sub>2</sub>	Potencial de Calentamiento Global (PCG)	HUELLA DE CARBONO
CONSUMO DE RECURSOS ENERGÉTICOS	MJ	Cantidad consumida	
REDUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO	Kg Eq CFC-11	Potencial de agotamiento de la capa de ozono (PAO)	ACV
EUTROFIZACIÓN	Kg Eq NO <sub>3</sub>	Potencial de eutrofización (PE)	
ACIDIFICACIÓN	Kg Eq SO <sub>2</sub>	Potencial de acidificación	
CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS	Tm	Cantidad consumida	
FORMACIÓN DE OXIDANTES FOTOQUÍMICOS	Kg Eq C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos (PFOF)	

**Figura 2. 3.** Categorías de impacto ambiental a ser consideradas en las metodologías de análisis de ciclo de vida (ACV) y de huella de carbono (HC)

**Fuente:** www.euresp-plus.net, 2009. Modificado por: Morera, 2015

El disponer de modelos simplificados adaptados para una finalidad concreta puede resultar, en muchas circunstancias, extremadamente útil, para proporcionar una medida fiable y cuantitativa del impacto ambiental para los objetivos planteados en cada proyecto.

La idea básica que reside en los planteamientos de simplificación es el facilitar la realización de la evaluación. Esto se puede realizar de diversas formas: limitando el alcance del estudio, es

decir, eliminando del análisis etapas del ciclo de vida cuya contribución al impacto global se considera despreciable (como se verá, aplica para este caso); aplicando reglas de corte para dejar fuera del análisis procesos o productos; empleando fuentes de datos genéricas; o reduciendo el espectro de los impactos que serán objeto de estudio, tal es el caso, por ejemplo, de los modelos centrados en aspectos energéticos y emisiones de CO<sub>2</sub> (como también es este el caso).

En el trabajo de investigación para tesis doctoral de Zabalza (2011), en España, él propone una metodología cuantitativa acorde con la perspectiva de ciclo de vida para edificios en el ámbito residencial, basándose principalmente en indicadores relativos a los consumos de agua y energía, así como las emisiones de GEI. A partir de los resultados obtenidos del análisis completo de tres casos de estudio, Zabalza formula la siguiente propuesta de simplificación:

- Las categorías de impacto seleccionadas se reducen únicamente a la energía incorporada y el potencial de calentamiento global.
- Las etapas de construcción y fin de vida se consideran fuera de los límites del sistema.
- Los aspectos incluidos en la etapa de producción del edificio se limitan a la fabricación de la estructura y cerramientos del edificio.
- Los aspectos incluidos en la etapa de uso del edificio se limitan al consumo de energía final necesario para la operación del edificio.

Por otra parte, se investigaron y se revisaron distintos casos de proyectos, con el objetivo de validar el alcance propuesto de este proyecto en cuanto a las fases a considerar en el ACV para un edificio.

En el caso de estudios de edificios propiamente, Junnila (2004) analizó comparativamente el impacto ambiental generado en las distintas etapas del ciclo de vida por tres edificios de oficinas en Finlandia y un cuarto en EEUU, con similares condiciones climáticas. Los resultados mostraron que la etapa de operación del edificio es la que conlleva mayores impactos en cuanto a potencial de cambio climático, acidificación y eutrofización, mientras que la fabricación de los materiales de construcción ocasiona mayores impactos en el "smog" de verano y en el uso de metales pesados. (Rivela, 2012).

Kofoworola y Gheewala (2008) por su parte, realizaron el estudio de un edificio de oficinas de 38 plantas en Bangkok, que consideran representativo de los edificios de oficinas en Tailandia, estimando una vida útil de 50 años. Los resultados revelaron que los impactos asociados al ciclo de vida se producen mayoritariamente en la fase de operación de la edificación, que representa aproximadamente el 52 %, 66 % y 71 %, para las categorías de potencial de calentamiento global, acidificación y formación de foto-oxidantes, respectivamente. (Rivela, 2012).

Finalmente, Hevia (2014) expone que de acuerdo a estudios revisados a nivel global, se obtienen las siguientes conclusiones con respecto al peso de cada etapa del ciclo de vida de edificios para el cálculo de HC:

#### **a) Etapa de construcción:**

##### *i) Extracción de materiales y producción de materiales de construcción*

Entre un 10 % a un 20 % del total de energía durante la vida útil del edificio se consume en esta etapa, por lo tanto existe un llamativo potencial de reducción de emisiones que se podría aprovechar al utilizar materiales menos intensivos energéticamente y más amigables con el medio ambiente. Sin embargo, este tipo de decisiones se toman a nivel de pre diseño y diseño.

##### *ii) Transporte de materiales y construcción del edificio*

Estos procesos tienen una participación cercana al 1 % del total de energía consumida a lo largo del ciclo de vida de todo el edificio, por lo tanto no tiene potencial de mejoramiento que signifique grandes reducciones en cuanto al consumo energético o reducción de GEI. Además, en edificios existentes esta etapa ya fue realizada y no presenta ninguna opción de mejora.

#### **b) Etapa de operación**

##### *i) Energía de operación*

Estudios revisados muestran que entre un 80 % a un 90 % de la energía total consumida a lo largo de todo el ciclo de vida se debe a la fase de operación del edificio. Es por lo tanto en esta etapa donde se encuentran los mayores potenciales de reducción de consumo y por ende de emisiones. Dentro de los distintos sistemas instalados y considerados en esta etapa, los

relacionados a calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC, por su nombre en inglés) son los más intensivos energéticamente.

#### ii) *Mantenimiento y renovación*

Si bien esta etapa representa un potencial de mejora en edificios existentes, existe muy poca información acerca de la huella de carbono de los productos utilizados en la construcción, tanto a nivel nacional como internacional. Es por ello que, el considerar esta sub etapa es sumamente complejo debido a la escasez de los datos disponibles, lo cual además aumentaría el error y la incertidumbre de los cálculos realizados.

### **c) Etapa de fin de vida útil**

#### i) *Demolición, transporte y disposición*

Esta etapa representa aproximadamente el 1 % de todo el consumo energético, por lo tanto no tiene un gran potencial de reducción de emisiones con el respecto al total de emisiones a lo largo de todo el ciclo de vida.

Según Rivela (2012), los estudios que han empleado la aproximación de ciclo de vida para analizar el impacto ambiental de edificios no residenciales, coinciden en señalar a la fase de operación o vida útil como la principal responsable del impacto generado a lo largo del ciclo de vida.

La gran importancia relativa con respecto a las demás etapas, hace que se justifique en gran medida, el considerar únicamente la energía operacional del edificio, en el cálculo de HC del mismo.

Este enfoque a desarrollar durante este trabajo, está orientado hacia planes y estrategias tendientes a la introducción de un perfil de eficiencia energética en el edificio, el cual permitiría disminuir las emisiones contaminantes producidas durante la operación. Será determinante identificar y contabilizar las emisiones de GEI relacionadas con el edificio en estudio, y así establecer medidas efectivas de reducción de los consumos; para ello, la herramienta adecuada a utilizar corresponde a la HC.

En el Cuadro 2.1 se resume, según lo expuesto por Hevia (2014), el peso de cada etapa, en porcentaje, con respecto a su participación en el ciclo de vida de un edificio para el cálculo de la HC.

**Cuadro 2. 1.** Consumo, en porcentaje, del total de energía durante la vida útil de un edificio, según etapa

ETAPA	LABOR	CONSUMO EN %
		(del total de energía durante la vida útil del edificio)
CONSTRUCCIÓN	Extracción de materiales y producción de materiales de construcción	10 % a 20 %
	Transporte de materiales y construcción del edificio	1 %
OPERACIÓN	Energía de operación (1)	80 % a 90 %
	Mantenimiento y renovación	No hay información. Depende del diseño y los materiales previstos.
FIN DE VIDA ÚTIL	Demolición, transporte y disposición	1 %

(1) Se dan los mayores potenciales de reducción de consumo y, por ende, de emisiones.

**Fuente:** Morera, 2016 con base en información de Rivela, 2012

## 2.3 Eficiencia energética

De acuerdo con CONAFE (2013), la eficiencia energética (EE), se define como el conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. Esto se puede lograr a través de la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y de hábitos culturales de un país o comunidad.

Un término que guarda relación con el de eficiencia energética es el de eco-eficiencia, el cual fue acuñado por el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 1992), según el cual, una empresa se puede considerar eco-eficiente *“cuando es capaz de ofertar productos y servicios a un precio competitivo, que satisfacen necesidades humanas, incrementando su calidad de vida, reduciendo progresivamente el impacto medioambiental y la intensidad del*

*uso de recursos a lo largo de su ciclo de vida, al menos hasta el nivel de capacidad de carga del planeta'* (m14 Arquitectura, s.f.).

El crecimiento en el desarrollo socioeconómico de los países está asociado a un aumento de la demanda de energía y de los costos de generación, lo que motiva a los distintos sectores productivos a buscar formas más eficientes de utilizar la energía. Los esfuerzos que realizan las industrias están orientados a disminuir el consumo de energía, mediante la sustitución de equipos poco o nada eficientes, la capacitación del personal y el mantenimiento preventivo de sus equipos, entre otros.

En Costa Rica, en el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), desde la Dirección Sectorial de Energía, se promueve y se fijan los objetivos de mitigar responsablemente el crecimiento de la demanda y la emisión de gases mediante el uso eficiente y racional de la energía, así como de modernizar y renovar los equipos de consumo para fomentar la introducción de nuevas tecnologías y equipos más eficientes energéticamente y bajos en emisiones de CO<sub>2</sub>.

Hevia (2014) menciona que en cuanto a datos estadísticos, el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), en el capítulo Buildings, del documento Working Group III- Mitigation of climate change, establece que en edificios comerciales, los ahorros en calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC, por su nombre en inglés) pueden alcanzar niveles desde 25 % al 50 % modificando los equipos y los sistemas de control solamente. Si además se realizan cambios en la envolvente del edificio y se incorporan elementos pasivos, estos ahorros serían significativamente mayores. En cuanto a la iluminación, se pueden lograr ahorros, de acuerdo a esta misma fuente, de un 30 % hasta un 60 %. Por último, en el documento se afirma que por medio del reacondicionamiento de mayor envergadura se puede llegar a lograr niveles de ahorro desde 50 % hasta un 90 %.

Por otra parte, Naranjo (2010) indica que de acuerdo con el Rocky Mountain Institute, es posible disminuir en una industria:

- Entre un 70 % a 90 % de la energía y costos de iluminación, ventilación y sistemas de bombeo
- Un 50 % en motores eléctricos

- Un 60 % en calefacción, aire acondicionado, equipos de oficina y herramientas.

En general, se estima que cerca de un 75 % de la energía utilizada se podría ahorrar con medidas de eficiencia que cuestan menos que la misma electricidad.

Al utilizar el enfoque energético, se debe considerar el análisis de ciclo de vida de la energía (ACVE), el cual contabiliza todas las entradas y salidas de energía a lo largo de todo el ciclo de vida de la edificación. Relacionadas a cada una de las etapas del ciclo de vida, se puede definir una categoría de energía asociada, estas se describen como:

- a) Energía incorporada (Embodied Energy): Corresponde a la energía incluida en los materiales para la construcción, mantenimiento y renovación del edificio. Esta se divide en energía incorporada inicial (construcción) y en energía incorporada recurrente (renovación y mantenimiento).
- b) Energía operacional (Operational Energy): Corresponde a la energía utilizada para la operación de los sistemas de HVAC, iluminación, suministro de agua fría y caliente, aparatos eléctricos, entre otros. Para obtener la energía operacional en el tiempo de vida del edificio, se calcula el producto entre la energía operacional anual y la vida útil del edificio.
- c) Energía de demolición (Demolition Energy): Corresponde a la energía utilizada para el proceso de demolición del edificio además de la utilizada para el transporte de los desechos.

En general, la energía del ciclo de vida del edificio se obtiene como la suma de las tres categorías de energía descritas anteriormente. Sin embargo, para fines de la elaboración de este trabajo y como se ha detallado anteriormente, se ha definido tomar en cuenta solamente la etapa operacional del edificio, y por lo tanto, únicamente la energía operacional correspondiente.

## **2.4 Metodologías para el cálculo de la HC**

Las metodologías para el cálculo de HC están basadas en un enfoque cuantitativo, ya que requieren de la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y



probar hipótesis establecidas previamente. Estas se basan en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento.

Según Kerlinger (1979), dentro del enfoque cuantitativo hay dos tipos clásicos de investigación: las experimentales y las no experimentales. Las primeras se basan en el método clásico de laboratorio científico, donde los datos pueden ser manipulados y los efectos observados pueden controlarse. Las segundas, que son donde encajan este tipo de metodologías, son de indagación empírica y sistemática en las cuales no se tiene un control directo sobre las variables pues sus manifestaciones ya han ocurrido o porque son inherentemente no manipulables (Moreno, 2013).

En el caso de metodologías asociadas a la medición de HC, se debe considerar que en la actualidad, existen dos enfoques a la hora de realizar una medición de HC. Estos son, el enfoque corporativo, que mide todas las emisiones de GEI relacionadas con una determinada organización, y el enfoque de producto, en el que se analizan todas las emisiones de GEI durante el ciclo de vida de un producto o servicio analizado. En el caso específico de un edificio, estos se consideran como un producto, y por lo tanto se utiliza dicho enfoque.

En cuanto a metodologías para el cálculo de HC, en los últimos años se han desarrollado tres sistemas que establecen metodologías genéricas para la realización del análisis de HC. Estas son la Greenhouse Gas Protocol (GHG), la norma PAS 2050:2011 y la norma ISO/TS 14067:2013.

Según Rivela (2012), estos tres sistemas presentan una estructura similar respecto a la determinación de la unidad funcional, recopilación de datos para el inventario, cálculo de las emisiones de GEI asociadas, y solución a los problemas de asignación de productos. Sin embargo, el Protocolo GHG se diferencia en que los límites del sistema son definidos de una manera mucho más analítica, al ser desgranados por fases del ciclo de vida.

A pesar de que las tres metodologías anteriores son muy genéricas y abordan una descripción de los requerimientos a aplicar en caso de productos, ninguna posee posibles adaptaciones que proporcionen las pautas de aplicación del cálculo de HC a un producto tan complejo como un edificio. En el caso del Protocolo GHG, dadas las múltiples variables que examina, la

aplicación para el cálculo de HC de un edificio resulta aún más compleja e imprecisa, puesto que muchas variables no resultan controlables en ejecución.

En el año 2010, la Comisión Europea realizó un estudio con el fin de analizar la posibilidad de unificar las metodologías que han tenido iniciativa en todo el mundo. Se analizaron más de 140 metodologías de las cuales se encontraron que aproximadamente 80 métodos o iniciativas presentaban enfoque corporativo y 60 de producto (Universidad de San Jorge, 2012). En la Figura 2.4 se muestra una lista resumen de dichas metodologías empleadas en todo el mundo.

Metodología	Ámbito de aplicación	Enfoque
Carbon Disclosure Project (CDP)	Aplicación voluntaria y de ámbito global. Ampliamente adoptada	Organización
WBCSD/WRI GHG Protocol Corporate Standard	Aplicación voluntaria y de ámbito global. Ampliamente reconocida; base para otros estándares.	Organización
ISO 14064: 2006 (Partes 1 and 3)	Aplicación voluntaria y de ámbito global. Estándar internacional verificable	Organización
French Bilan Carbone	Aplicación voluntaria y de ámbito europeo. Ampliamente reconocida	Organización
DEFRA Company GHG Guidance	Aplicación voluntaria y de ámbito europeo. Ampliamente reconocida	Organización
UK Carbon Reduction Commitment (CRC)	Aplicación obligatoria y de ámbito europeo. Cubre a los pequeños emisores	Organización
US EPA Climate Leaders Inventory Guidance	Aplicación voluntaria y de ámbito USA. Provee incentivos	Organización
US GHG Protocol Public Sector Standard	Aplicación voluntaria y de ámbito USA y al sector público	Organización
PAS 2050	Aplicación voluntaria. Procedencia UK	Producto
KOREA PCF	Aplicación voluntaria. Metodología creada en Corea	Producto
Carbon Footprint Program	Aplicación voluntaria. Procedencia Japón	Producto
Carbon Index Casino	Aplicación voluntaria. Procedencia Francia	Producto
Greenext	Aplicación voluntaria. Procedencia Francia	Producto
Climate Certification System	Aplicación voluntaria. Procedencia Suecia	Producto
Climatop	Aplicación voluntaria. Procedencia Suiza	Producto
GHG Protocol- Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard	Aplicación voluntaria. Ámbito Global	Producto
BP X30-323	Aplicación voluntaria. Procedencia Francia	Producto
ISO 14067	Aplicación voluntaria. Ámbito Global	Producto

**Figura 2. 4.** Metodologías de cálculo de HC más utilizadas en todo el mundo

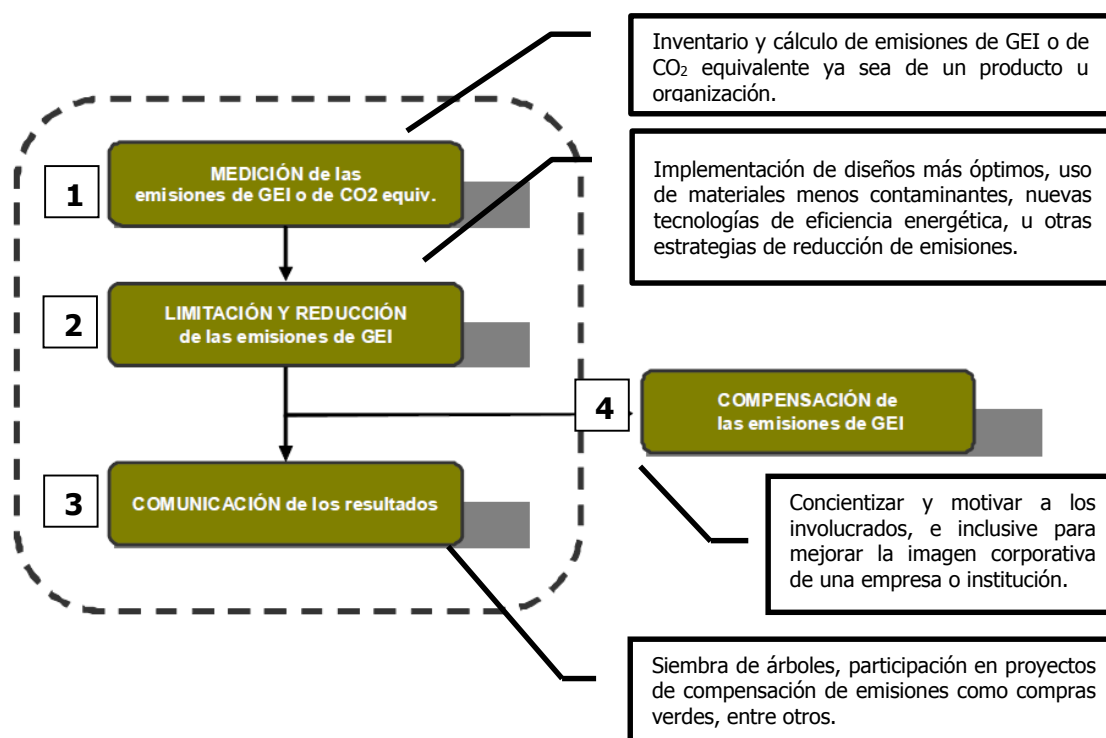
**Fuente:** [www.carbonfeel.org](http://www.carbonfeel.org), 2012

Cada una de estas metodologías varía dependiendo del enfoque y de la magnitud de cada proyecto en estudio. Las técnicas y métodos utilizados en cada metodología, pueden ser empleados a proyectos muy específicos (de empresas u organizaciones para sus propios objetivos, por ejemplo), o bien, pueden ser presentados de manera global (genérica) para que

países y organizaciones puedan tomarlas como base, adaptarlas a sus condiciones y crear sus propias metodologías.

Las principales metodologías internacionales consideradas para el desarrollo de este trabajo son: la norma ISO/TS 14067:2013 (adaptada a Costa Rica en 2015), orientada a la cuantificación total o parcial de la huella de carbono de productos (HCP), y basada en la norma PAS 2050:2011 y en el grupo de normas ISO 14044:2006; y la norma europea EN 15978:2012, dirigida directamente al ACV de edificios y sus métodos de cálculo.

A modo general, cada una de esas metodologías sigue cuatro actividades macro siempre presentes en la determinación de la HC. Estas se muestran en la Figura 2.5.



**Figura 2. 5.** Pasos generales a seguir en proyectos de medición de HC

**Fuente:** Morera, 2015. A partir de [www.euresp-plus.net](http://www.euresp-plus.net), 2009

Cada una de estas actividades macro se debe entender de la manera siguiente:

- 1. Medición de las emisiones de GEI:* Esta actividad corresponde al cálculo de emisiones de GEI o de CO<sub>2</sub> equivalente ya sea de un producto u organización. Para ello, se han desarrollado diversas herramientas que generalmente son programas avanzados o calculadoras de HC más simples, que miden directamente la HC. Sin embargo, estos programas requieren de información de insumo, que se obtiene por medio de inventarios que registran el control de emisiones de GEI de un ciclo de vida de una organización o producto, o bien, más específicamente el consumo energético de cada uno de los sectores, sistemas o equipos que se consideren en el alcance de un proyecto, como es el caso de este proyecto.
- 2. Limitación y reducción de las emisiones de GEI:* Posterior a la medición de HC, se procede a pensar en la manera de cómo limitar y reducir las emisiones de GEI. Por lo general comprende la implementación de diseños más óptimos, materiales menos contaminantes, nuevas tecnologías de eficiencia energética, u otras estrategias de reducción de emisiones, las cuales dependerán de las etapas que se consideren en el análisis de ciclo de vida del producto u organización.
- 3. Compensación de las emisiones de GEI:* Paralelo a la actividad de reducción de emisiones de GEI, también se implementa la actividad de compensación de emisiones de GEI. Esta es una forma de compensar aquellas emisiones que no puedan ser reducidas directamente mediante las medidas tomadas en la actividad anterior. Para ello, se pueden implementar actividades ecológicas como la siembra de árboles, o bien, participar en proyectos de compensación de emisiones (PCE), tales como compras verdes, con el fin de compensar y neutralizar el impacto generado.
- 4. Comunicación de los resultados:* Finalmente, se realiza la comunicación de los resultados obtenidos de cualquier estudio y metodología aplicada. Es importante comunicar los resultados, con el fin de concientizar y motivar a los involucrados, así como también, para mejorar la imagen corporativa de una empresa o institución. Asociado a la comunicación de resultados, están también las etiquetas o sellos verdes o ecológicos, que llevan algunos productos certificados, los cuales son sinónimo de sostenibilidad y de beneficios ambientales.

Como se ha mencionado, las actividades macro son muy generales a seguir para un proyecto de medición de HC. Para poder definir una metodología específica, es preciso considerar situaciones particulares de cada caso de estudio. En el caso de edificios, la diferencia entre edificios nuevos o ya existentes es muy considerable, pues representan procesos muy distintos tanto para la medición de HC como para la implementación de medidas de reducción de emisiones de GEI; por ejemplo, en edificios nuevos, el ACV para la medición de HC es menos complejo de realizar, pues no incluye las fases de operación y mantenimiento que sí se tienen en el caso de edificaciones ya existentes. Por otra parte, en edificios nuevos, la implementación de medidas de reducción de GEI se realiza desde la etapa de diseño, lo cual se traduce en una mayor flexibilidad al establecer las características del edificio en pos de lograr un comportamiento energético deseado. En el caso de edificios existentes, las características a modificarse son más limitadas, por lo que es necesario estudiar las características propias del edificio, a fin de poder identificar posibles potenciales de mejora, principalmente desde el punto de vista energético.

## 2.5 Referencias normativas

Son muchas las normativas que pueden ser referentes para un tema de esta índole, sin embargo, solo fueron consideradas las que aplican directamente a temas de huella de carbono y edificaciones, aquellas que son globales y que han sido adaptadas al país, y las que se han desarrollado propiamente en Costa Rica referentes a tema de emisiones y construcción sostenible. Para el entendimiento de estas normas, se procuró clasificarlas de acuerdo al enfoque y objetivo principal para el que fueron creadas.

Las principales referencias normativas a nivel nacional e internacional que aplican para el desarrollo de este trabajo son las siguientes:

- ISO/TS 14067:2013: *Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para cuantificación y comunicación.* Adoptada en Costa Rica en el año 2015 por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica: INTE-ISO TS 14067:2015.
- PAS 2050:2011: *Verificación de la Huella de Carbono.*

- EN 15804:2012 + A1:2013: *Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción.*
- EN 15978:2011: *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo.*
- INTE 06-12-01:2012: *RESET – Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico.*
- ISO 14040:2006: *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia.* Adoptada en Costa Rica en el año 2007 por INTECO, detallándose como: INTE-ISO 14040:2007: *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y estructura.*
- ISO 14044:2006: *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices.* Adoptada en Costa Rica en el año 2007 por INTECO, designándose como INTE-ISO 14044:2007.
- ISO 14064:2006: *Gases de efecto de invernadero.*
- PAS 2060:2010: *Especificación para la Neutralidad de Carbono.*
- INTE 12-01-06:2011/Cor.2:2013: *Normativa Nacional para demostrar la C-Neutralidad. Requisitos.*

A continuación se hace mención al alcance de cada una de estas normas. Por su naturaleza, estas se han clasificado en: normas orientadas al enfoque de producto y edificaciones, normas orientadas al enfoque de ACV y organizaciones, y normas orientadas a la C-Neutralidad.

### **2.5.1 Normas orientadas al enfoque de producto y edificaciones**

- **ISO/TS 14067:2013: *Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para cuantificación y comunicación.***

Esta norma internacional fue adoptada en Costa Rica en el año 2015 por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) y se le localiza bajo la designación INTE–ISO TS 14067:2015:

*Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para cuantificación y comunicación.*

Esta especificación técnica establece los principios, los requisitos y las directrices para la cuantificación y comunicación de la HC de un producto (HCP), como es el caso de un edificio. El contenido de esta norma incluye lo que son referencias normativas, aplicación, principios, metodología para la cuantificación de la HCP, informe de estudio de la HCP, y aspectos relacionados con la comunicación de la HCP. Esta normativa, a su vez, se basa en las normas ISO 14040 e ISO 14044 en cuanto al ACV para la cuantificación.

- **PAS 2050:2011: *Verificación de la Huella de Carbono.***

Normativa internacional publicada por British Standards Institution (BSI), la cual es de aplicación voluntaria. Fue reconocida como el mejor modelo para la evaluación de emisiones de GEI del ciclo de vida de un producto. Esta norma describe lo que son términos y definiciones (para entender los requisitos de la PAS), principios e implementación, fuentes de emisión, compensación y unidad de análisis, límites del sistema, datos, asignación de emisiones, cálculo de emisiones de GEI de productos y reclamación de la conformidad. En el caso de que las organizaciones reclamen la conformidad del cálculo de la huella de carbono de sus productos conforme a PAS 2050, estas deberán garantizar que el análisis del ciclo de vida de sus productos sea completo, definiéndose el análisis de ciclo de vida como una técnica para evaluar aspectos ambientales (BSI España, 2011).

- **EN 15804:2012 + A1:2013: *Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción.***

Normativa europea que establece las reglas de categoría de producto (RCP) básicas para las declaraciones ambientales de cualquier producto y servicio de construcción. Entre su contenido se describen qué etapas del ciclo de vida de un producto se consideran en la declaración ambiental de producto (DAP) y qué procesos se incluyen en las etapas del ciclo de vida; además, se incluyen las reglas para el cálculo del inventario del ciclo de vida (ICV) y la evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV). En general, se establecen principios generales, reglas de categoría de producto para el ACV, contenido de la DAP, informe de proyecto y verificación, y validez de una DAP.

- **EN 15978:2011: *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo.***

Normativa europea que especifica el método de cálculo, basado en un ACV y otra información cuantificada, que permite evaluar el comportamiento de un edificio ya sea nuevo o existente, así como en caso de proyectos de rehabilitación. La norma proporciona aspectos referentes a la descripción del objeto de evaluación, escenarios para la definición del ciclo de vida del edificio, procedimiento a utilizar para análisis de inventario, cuantificación del edificio y su ciclo de vida, selección de datos ambientales y uso de las DAP, lista de indicadores y procedimientos para el cálculo de dichos indicadores, requisitos para el informe de resultados de la evaluación, y verificación de resultados.

- **INTE 06-12-01:2012: *RESET – Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico.***

Normativa nacional. El documento base de esta norma fue donado por el Instituto de Arquitectura Tropical (IAT) al país, a fin de ampliar los requisitos de sostenibilidad a una amplia gama de edificaciones, priorizando la capacidad de diseño y el potencial de sostenibilidad que tiene la arquitectura. Esta norma establece un instrumento que tiene un énfasis en las decisiones de diseño, construcción y operación de una edificación en el trópico. Es una herramienta que busca facilitar y revisar decisiones de proyecto, que sirva como indicador y pauta, para incorporar criterios responsables con el entorno (INTECO, 2012). La norma contiene y desarrolla aspectos socioeconómicos, de estudios preliminares, de entorno y transporte, de calidad y bienestar social, de suelos y paisajismo, de materiales y de optimización en el uso del agua y de la energía. La creación de esta norma se basó en la norma PAS 2060, utilizada para cuantificar el estatus de carbono neutral, y en el Estándar Nacional de Compensación de Carbono (NCOS, por sus siglas en inglés), el cual provee una guía de compensaciones y requerimientos mínimos para calcular y compensar la HC y alcanzar la C-Neutralidad.



## 2.5.2 Normas orientadas al enfoque de ACV y organizaciones

- **ISO 14040:2006: *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia.***

Normativa internacional adoptada en Costa Rica en el año 2007 por INTECO, detallándose como: INTE-ISO 14040:2007: *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y estructura.* Esta norma internacional describe los principios y el marco de referencia para el ACV incluyendo: la descripción general del ACV, la definición del objetivo y el alcance del ACV, la fase de análisis del inventario del ciclo de vida (ICV), la fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV), la fase de interpretación del ciclo de vida, el informe y la revisión crítica del ACV, las limitaciones del ACV, la relación entre las fases del ACV y las condiciones de utilización de juicios de valor y de elementos opcionales.

- **ISO 14044:2006: *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices.***

Normativa internacional adoptada en Costa Rica en el año 2007 por INTECO, especificándose como INTE-ISO 14044:2007 y llamada de la misma forma. Esta norma internacional es complementaria a la descrita anteriormente, se diferencia en que no contiene la descripción general del ACV que se detalla en la norma anterior, pero se describen en mayor detalle las condiciones y requisitos especiales en cuanto a la elaboración de informes. Además, a diferencia de la norma anterior, contiene como anexos ejemplos de hojas de recopilación de datos y ejemplos de interpretación del ciclo de vida.

- **ISO 14064:2006: *Gases de efecto de invernadero.***

Normativa internacional utilizada como una herramienta en el área de cálculo de emisiones de efecto invernadero. El objetivo de esta norma es dar credibilidad y veracidad a los reportes de emisión de GEI, así como a las declaraciones de reducción o remoción de GEI. Esta norma se compone de tres partes que contienen los principios, criterios y etapas requeridos para una correcta contabilización y verificación en el cálculo de las emisiones de GEI (Hidalgo, 2013), ellas son:

**ISO 14064-1:** *Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero.* Se centra en el diseño y desarrollo de los inventarios de GEI a nivel de organización. El contenido de la norma detalla los principios y requisitos que deben regir tanto la elaboración como el proceso de seguimiento de los inventarios. La norma contiene información sobre los requisitos necesarios para la definición de límites, criterios de selección de fuentes emisoras, recomendaciones metodológicas para el cálculo, formato y contenido informativo de los informes de inventario, diseño del proceso de auditoría interna y responsabilidades en el proceso de verificación de los informes.

**ISO 14064-2:** *Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero.* Detalla la metodología de cálculo de la reducción de emisiones asociadas a la ejecución de proyectos o al diseño de actividades. Comprende las fases de planificación e implementación de proyectos y contiene recomendaciones para la aproximación metodológica al cálculo de las reducciones (definición de escenarios de línea de base y proyecto) así como criterios para el seguimiento, control y comunicación de las emisiones calculadas.

**ISO 14064-3:** *Gases de efecto invernadero. Parte 3: Especificación con orientación para la validación y verificación de declaraciones sobre gases de efecto invernadero.* Esta parte de la norma se ha diseñado para ser utilizada por organizaciones o terceras partes que quieran disponer de una herramienta para verificar/validar inventarios de emisión. Se detallan los requisitos y recomendaciones necesarios para la correcta ejecución de los procesos de validación y verificación de los inventarios de emisiones de GEI. Además, se establecen los procesos de evaluación y declaración de estos inventarios.

A nivel nacional la ISO 14064:2006, con sus respectivas partes, han sido adaptadas por INTECO, y se ubican bajo la designación INTE-ISO 14064-1:2006: *Gases de efecto invernadero – Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero*; INTE-ISO 14064-2:2006: *Gases de efecto invernadero – Parte 2: Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero*; e INTE-ISO 14064-3:2006: *Gases de efecto invernadero – Parte 3: Especificación con orientación para la validación y verificación de declaraciones sobre gases de efecto invernadero*.

### **2.5.3 Normas orientadas a la C-Neutralidad**

- **PAS 2060:2010: *Especificación para la Neutralidad de Carbono.***

Normativa internacional publicada por British Standards Institution (BSI) y también es de aplicación voluntaria. Fue creada con el fin de permitir que las organizaciones aseguren que sus declaraciones sobre neutralización de las emisiones son correctas y que no existen fraudes en éstas. La norma proporciona orientación sobre la manera de cuantificar, reducir y compensar las emisiones de GEI sobre una materia específica en un ámbito muy diverso, incluidas actividades, productos, servicios, edificios, u otros (BSI España, 2011). Incluye términos y referencias, objeto y emisiones de GEI asociadas, cuantificación de la huella de carbono, compromiso y consecución de neutralidad, compensación de emisiones GEI residuales, declaraciones y mantenimiento de la neutralidad de carbono.

- **INTE 12-01-06:2011/Cor.2:2013: *Normativa Nacional para demostrar la C-Neutralidad. Requisitos.***

Normativa nacional tendente a normalizar un Sistema de Gestión para demostrar la carbono neutralidad de las empresas y organizaciones que hayan medido su huella de carbono, reducido sus emisiones y compensado las emisiones residuales, pasos que se consideran imprescindibles en el proceso de la carbono neutralidad (INTECO, 2011). La norma contiene normas de referencia, definiciones, principios, requisitos para demostrar la C-neutralidad, compensación de las emisiones de GEI y requisitos de declaración.

## **CAPÍTULO 3. ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO PARA LA CONDICIÓN ACTUAL**

Este capítulo comprende la descripción del caso de estudio, el proceso seguido en la recolección de datos y los resultados obtenidos del cálculo de huella de carbono para la condición actual.

Con base en la información procesada se visualiza un panorama general de la situación actual del edificio, que permite identificar qué sectores son más influyentes en la huella de carbono, así como puntos de mejora a considerar para la propuesta técnica descrita en el siguiente capítulo.

### **3.1 Caso de estudio**

El edificio en estudio corresponde al edificio "A" del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR), adscrito a la Escuela de Ingeniería Civil de esta universidad.

El LanammeUCR es un laboratorio especializado en la investigación aplicada, la docencia y la transferencia de tecnología en las áreas de ingeniería estructural, ingeniería sísmica, ingeniería de infraestructura de transportes, ingeniería geotécnica y de materiales. El edificio se ubica en la Universidad de Costa Rica, en la Ciudad de la Investigación, Finca 2, en San Pedro de Montes de Oca, como lo muestra Figura 3.1.

**Provincia:** San José  
**Cantón:** Montes de Oca  
**Distrito:** San Pedro



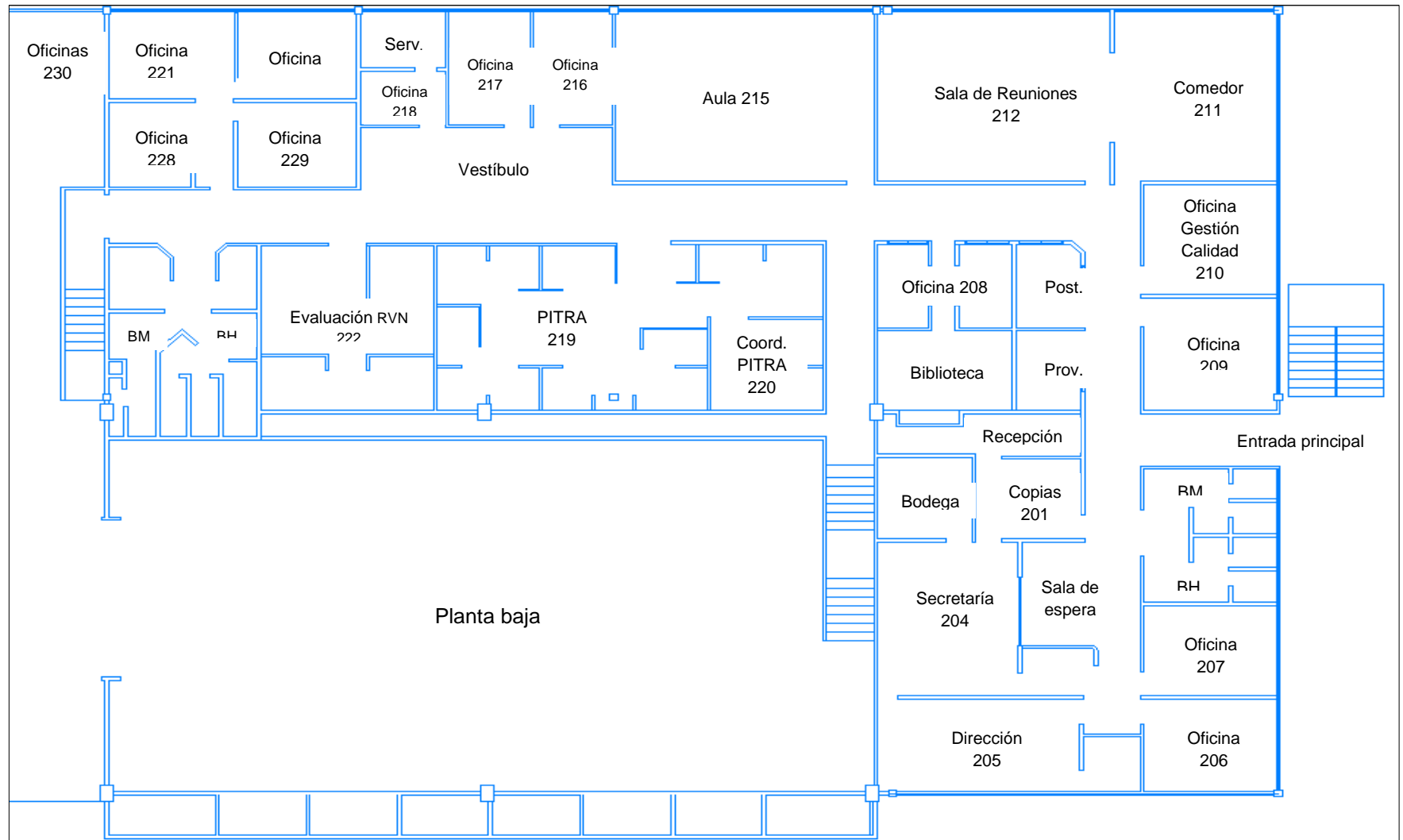
**Figura 3. 1.** Ubicación geográfica del edificio del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

**Fuente:** Morera, 2015

El edificio se compone de dos niveles en los que se distribuye, un área mayor (primer nivel) destinada principalmente a la ubicación de laboratorios, bodegas y parqueos, y un área menor (segundo nivel) destinada a investigación, aulas y oficinas. A pesar de que tiene espacios destinados a aulas y oficinas, especialmente en su segundo nivel, la mayor parte de la edificación es ocupada por gran cantidad de equipos especializados de uso en los diferentes laboratorios y programas de investigación en que se divide el LanammeUCR, a saber:

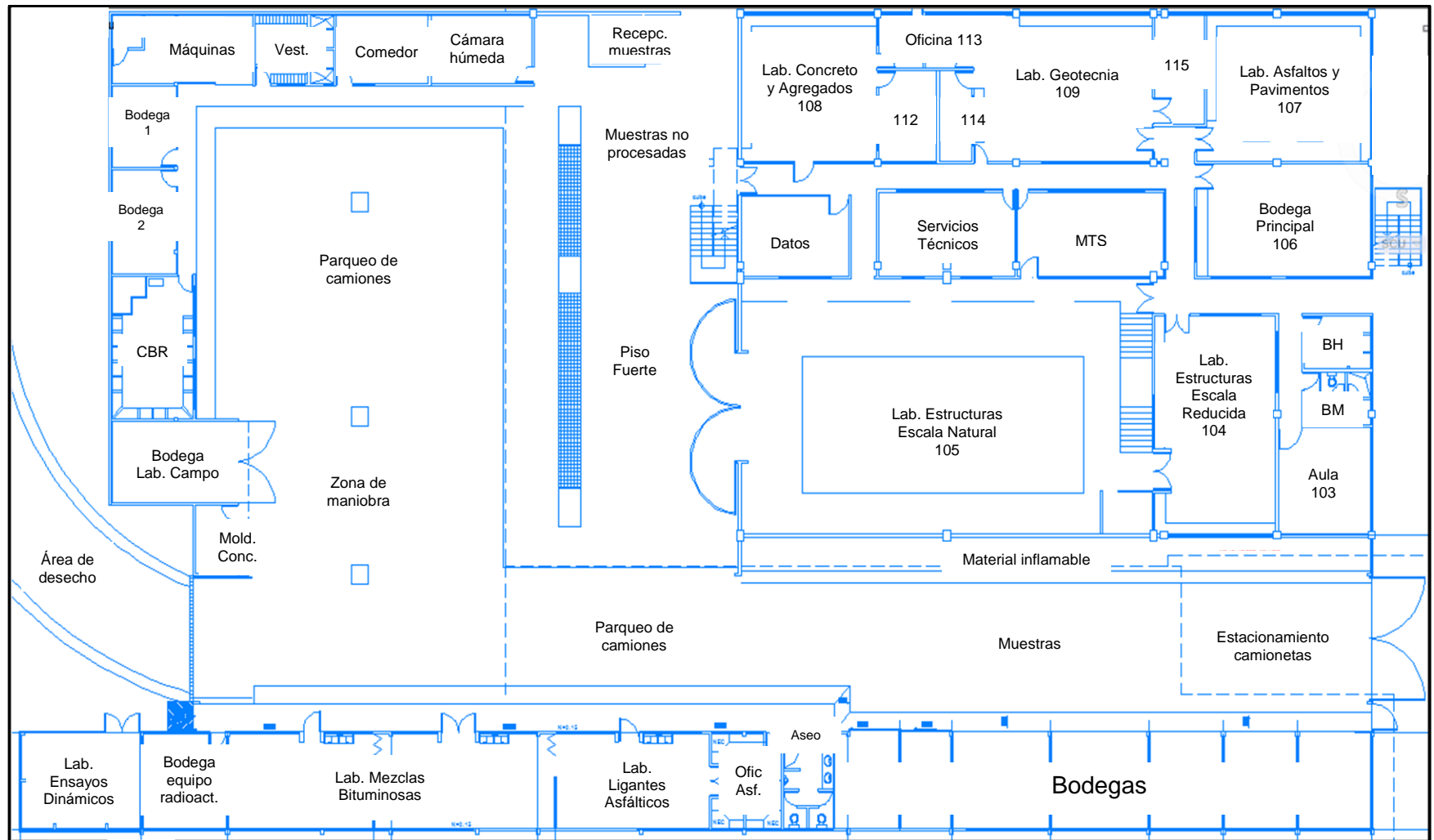
- Infraestructura civil: laboratorios de concreto y agregados, geotecnia, y estructuras a escala natural y a escala reducida.
- Infraestructura vial: laboratorios de asfalto y pavimentos, ensayos dinámicos, ligantes asfálticos y de mezclas bituminosas.

La distribución de espacios en ambos niveles, es la que se muestra en las Figuras 3.2 y 3.3. Con referencia en esas distintas áreas, es que se dan los resultados obtenidos de consumo energético.



**Figura 3. 2.** Distribución espacial de la planta alta del edificio del LanammeUCR

**Fuente:** Morera, 2015



**Figura 3. 3.** Distribución espacial de la planta baja del edificio del LanammeUCR

**Fuente:** Morera, 2015

Para su estudio, se dividió la gran variedad de sistemas y equipos del laboratorio, en tres categorías, a saber: luminarias, aires acondicionados y equipos de laboratorio (mayor detalle en sección 3.2: Consumos energéticos del edificio). En cuanto a las características propias de cada una de estas categorías, se tiene lo siguiente:

- Luminarias

La gran mayoría de luminarias que componen el sistema de iluminación del edificio del LanammeUCR, son de la marca *SYLVANIA, S.A.*

Las lámparas que se encuentran en el edificio en estudio, son las siguientes:

- Lámparas incandescentes (Figura 3.4): Son las de más bajo costo, su vida es de aproximadamente 1000 horas y tienen un consumo de energía relativamente alto. Con la tecnología existente, actualmente se consideran poco eficientes, ya que el 85 % de la electricidad que consumen la transforman en calor y solo el 15 % restante en luz.



**Figura 3. 4.** Bombillos incandescentes del edificio del LanammeUCR

**Fuente:** Morera, 2015

- Lámparas fluorescentes (Figura 3.5): Son ideales para la iluminación general de interiores como oficinas, fábricas y lugares públicos en general. La gran ventaja de este tipo de lámparas es su, relativamente, reducido consumo, frente a las lámparas tradicionales de incandescencia e incluso frente a otros tipos de lámpara, excepto



con las más recientes. Su principal desventaja radica en que no dan una luz continua, sino que muestran un parpadeo que depende de la frecuencia de la corriente alterna aplicada, lo cual puede afectar tanto su vida útil, así como la salud de las personas.



**Figura 3. 5.** Fluorescentes del edificio del LanammeUCR

**Fuente:** Morera, 2015

- Lámparas de mercurio (Figura 3.6): Estas son lámparas de vapor de mercurio de alta presión, que consisten en un tubo de descarga de cuarzo relleno de vapor de mercurio, con dos electrodos principales y uno auxiliar para facilitar el arranque. Una de las características de estas lámparas es que tienen una vida útil muy larga, ya que rinden las 24 000 horas de vida, a pesar de que la depreciación lumínica es considerable. Como efecto negativo, su rotura libera vapor de mercurio que incrementa el riesgo de envenenamiento por mercurio. Suelen utilizarse en exteriores, alumbrado público, bodegas y parques.



**Figura 3. 6.** Lámparas de mercurio del edificio del LanammeUCR

**Fuente:** Morera, 2015

- Aires acondicionados

Los tipos de aires acondicionados que se encuentran en el edificio son de tres tipos: piso cielo, mini split y cassette, en su mayoría son de la marca Carrier.

Los equipos de aire acondicionado *Carrier* son equipos de alta calidad, los cuales son comercializados en la modalidad de equipo convencional (con gas R-22), y en las modalidades de equipos Ecológicos y equipos Inverter, los cuales tienen un menor consumo energético y un funcionamiento más óptimo.

Los tipos de aires acondicionados que se encuentran en el edificio en estudio, son los siguientes:

- Piso Cielo: Generalmente poseen un alto desempeño y rendimiento energético. Entre sus características está su diseño compacto, multi posición, con distribución del aire en ambas direcciones, ventilador de tres velocidades, temporizador de apagado y encendido, conexión de drenaje al lado, control remoto inalámbrico y refrigerante tipo R410A /R22 (ver Figura 3.7). En total hay 10 aires de este tipo distribuidos en 9 locales distintos.



**Figura 3. 7.** Aire tipo Piso Cielo instalado en edificio del LanammeUCR

**Fuente:** Morera, 2015

- Mini Split: Entre sus características generales destaca que, poseen función de auto encendido y auto apagado, reloj programable, filtro con carbón activado, panel de LED, control de flujo de aire automático y condensador con protección anticorrosión (ver Figura 3.8). En total hay 5 aires de este tipo distribuidos en 5 locales distintos.



**Figura 3. 8.** Aire tipo Mini Split instalado en edificio del LanammeUCR

**Fuente:** Morera, 2015

- **Cassette:** Este tipo de aires son unidades nuevas que suelen utilizarse en oficinas, restaurantes y tiendas; son equipos fáciles de usar y de alta eficiencia energética, lo que repercute en un menor consumo (se reduce aproximadamente un 30 % en comparación con los sistemas tradicionales On/Off). Han sido diseñados especialmente para instalarlos en los techos falsos, y además, impulsan el aire en cuatro direcciones para mejorar el confort en todas las zonas del espacio climatizado. Por medio de su control, se obtiene oscilación de aire automática, modo powerful, modo noche, diagnóstico de error, programador semanal y función silencio (ver Figura 3.9). Únicamente hay un aire de este tipo ubicado en la sala de cómputo.



**Figura 3. 9.** Aire tipo Cassette instalado en edificio del LanammeUCR

**Fuente:** Morera, 2015

- Equipos de laboratorio

Como se detalló anteriormente en esta misma sección, existen diversos laboratorios que componen el edificio del LanammeUCR. En cada uno de ellos se encuentran equipos con todo tipo de características distintas, entre las que varían en gran medida, su uso así como el consumo que estos generan.

Para efectos del inventario realizado, se estudiaron cuatro laboratorios, de los cuales, se obtuvo la información de los equipos disponibles en cada uno de ellos (ver en Apéndice A). En este apartado se describen aquellos equipos que más consumo generan, según la información disponible y recolectada, y considerando al menos uno por laboratorio.

- Bombas hidráulicas: Una bomba hidráulica es un motor que al ser alimentado, genera un caudal y una fuerza determinada a su salida. Se diseñan con el fin de aumentar la presión del fluido que recorre sus cavidades, convirtiendo la energía mecánica en energía fluida o hidráulica. En general, estas bombas son los equipos del laboratorio que más potencia poseen, y por lo tanto que más consumo generan. En particular, se destaca la bomba hidráulica modelo 326 TC (ver Figura 3.10), ubicada en el laboratorio de modelos estructurales a escala natural, y utilizada con el fin de hacer funcionar la grúa del laboratorio. Esta bomba posee una potencia de 37,5 kW, la cual, suponiendo que se utilice 2 h por día, genera un consumo mensual aproximado de 1500 kWh.



**Figura 3. 10.** Bomba hidráulica, modelo 326 TC, ubicada en el Laboratorio de Modelos Estructurales a Escala Natural del LanammeUCR

**Fuente:** Morera, 2015

- Compresores de aire: Los compresores cumplen con una función similar a las bombas, absorben un fluido y lo expulsan con mayor presión que la inicial. Se diferencian en que, la función principal de las bombas es aumentar la presión, mientras que la función principal de un compresor, es alimentar una carga con presión constante. En el laboratorio, destaca el compresor de aire modelo 86-D2015/Z (ver Figura 3.11), ubicado en el laboratorio de geotecnia del LanammeUCR. Este tiene una potencia de 37,5 kW, capaz de generar también hasta 1500 kWh mensuales, con sólo utilizarse 2 h diarias.





**Figura 3. 11.** Compresor de aire, modelo 86-D2015/Z, ubicado en el Laboratorio de Geotecnia del LanammeUCR

**Fuente:** Morera, 2015

- Unidades de potencia hidráulica: Son generadores de energía hidráulica, implementados en los laboratorios, con el fin de sustituir la necesidad de instalaciones costosas de la carcasa de las bombas y la reducción de requisitos en cuanto a espacio y longitud de líneas de suministro. En el laboratorio de modelos estructurales a escala natural, destaca este equipo modelo 505.11-G2 (ver Figura 3.12), el cual posee una potencia de 16,3 kW, capaz de generar cerca de 16 500 kWh mensuales, estimándose un uso de 2 h diarias.



**Figura 3. 12.** Unidad de potencia hidráulica, modelo 505.11-G2, ubicada en el Laboratorio de Modelos Estructurales a Escala Natural del LanammeUCR

**Fuente:** Morera, 2015

- Plantas de asfalto: Estas son plantas mezcladoras móviles, utilizadas para la producción de mezclas en frío, destinadas a utilizarse en diversas obras viales. Son estabilizadoras de suelos, y a su vez, recicladoras en frío. En el LanammeUCR, se puede encontrar este tipo de planta, en el laboratorio de mezclas bituminosas. Esta es de modelo WLB 10 S (ver Figura 3.13), y posee una potencia de 5,5 kW, lo que generaría un consumo de 220 kWh mensuales, suponiendo un uso de 2 h diarias.



**Figura 3. 13.** Planta de asfalto, modelo WLB 10 S, ubicada en el Laboratorio de Mezclas Bituminosas del LanammeUCR

**Fuente:** Morera, 2015

- Sopladores de aire caliente: Son llamados también pistolas de aire caliente, completamente portátiles, y utilizados para aplicaciones de calefacción y sopladores. Son ideales para precalentado de placas (moldeado y rolado). Este tipo de equipos, se encuentra en el laboratorio de concreto y agregados del LanammeUCR. Es de modelo AH-751 (ver Figura 3.14), tienen una potencia de 2,2 kW y son capaces de llegar a generar alrededor de 85 kWh mensuales de consumo, si se considera un uso diario estimado de 2 h.



**Figura 3. 14.** Soplador de aire caliente, modelo AH-751, ubicado en el Laboratorio de Concreto y Agregados del LanammeUCR

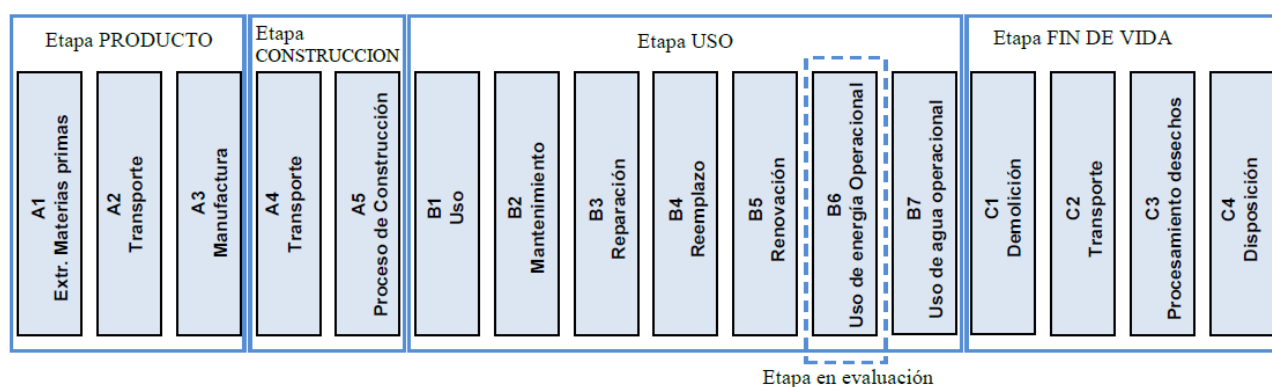
**Fuente:** Morera, 2015



En atención a los tipos de sistemas de luminarias y aires acondicionados y sus características, como también a los equipos de laboratorio en uso del edificio, y a las cantidades según el inventario realizado (ver Apéndice A), es posible estimar los consumos energéticos reales del edificio por categoría y así calcular la HC (apartados 3.2 y 3.3).

### 3.2 Consumos energéticos del edificio

La obtención de los consumos energéticos representa el primer paso previo al cálculo de huella de carbono del edificio. De acuerdo con la normativa europea EN 15978:2011, se establecen las etapas del ciclo de vida de la construcción de la forma siguiente (Figura 3.15):



**Figura 3. 15.** Ciclo de vida de la construcción de acuerdo a la normativa EN 15978:2012

**Fuente:** www.aenor.es, 2012

Se establecen entonces cuatro etapas dentro del ciclo de vida de la edificación:

- **Primera etapa:** los primeros impactos ambientales adversos se generan a partir de la extracción de la materia prima, su transporte y procesamiento (proceso productivo para alcanzar el producto final a ser empleado en la construcción de la edificación).
- **Segunda etapa:** se tienen los procesos propios de la ejecución de una labor constructiva (intervención del área de trabajo, movimientos de tierra, levantamiento o demolición de infraestructura, manipulación de equipos y maquinaria, gestión de sustancias peligrosas, entre otras).

- **Tercera etapa:** corresponde a la operación (uso) del edificio en donde el mayor impacto estriba en el consumo energético. Algunos investigadores sugieren que el impacto ambiental referido al consumo energético durante la fase de construcción de un edificio es menor, en comparación con la fase de operación; por ejemplo, mientras que la fabricación de materiales para construir un metro cuadrado de una edificación estándar puede implicar un consumo de energía equivalente de 6000 MJ ( $10^6$  joule, donde un joule se define como el trabajo realizado por la fuerza de 1 newton en un desplazamiento de 1 metro), en condiciones de uso normal el mismo edificio durante un año puede consumir unos 500 MJ por metro cuadrado, por tanto, si su vida útil se estima en unos 50 años, el consumo por concepto de operación sería de aproximadamente 25 000 MJ (Muñoz, 2012).
- **Cuarta etapa:** fin de vida de la edificación, cuando no cabe otra cosa más que demoler, lo que conlleva impactos ambientales adversos incluidos el consumo energético que implica la demolición, el transporte de los residuos y su procesamiento, y la disposición final de los desechos.

En el caso del laboratorio de ensayos que se analiza en este trabajo, el alcance está delimitado a la fase B6 señalada en la Figura 3.15 referida a la evaluación de las emisiones generadas por el consumo energético en la etapa de operación del edificio. En concordancia a dicha normativa, la energía de uso operacional se divide en tres grupos de uso:

- **Primera categoría:** Usos relacionados con el edificio como calefacción, refrigeración, ventilación, agua caliente sanitaria, iluminación y servicios auxiliares.
- **Segunda categoría:** Otros usos relativos a sistemas integrados, entre ellos ascensores, persianas, seguridad, comunicaciones, etc.
- **Tercera categoría:** Otros usos no relacionados con el edificio como ordenadores, neveras, máquinas, y otros relacionados con la utilización del edificio.

Los estudios empíricos demuestran que la primera categoría es la más influyente en los resultados (Hevia, 2014), por lo cual es necesario dedicar una mayor atención e inversión en los recursos para obtener toda la información posible de los procesos asociados a esta categoría. Para esto, es necesario conocer muy bien los equipos instalados en cuanto a cantidad y potencia de cada unidad perteneciente a los distintos sistemas, y también

identificar de manera precisa los encargados de su operación y patrones de utilización de cada uno de ellos.

Con respecto a las otras categorías, la importancia relativa de cada una depende en gran medida de la actividad realizada en el edificio. En este caso, al ser un edificio no-residencial y más bien de uso de oficinas y laboratorios, la tercera categoría es la segunda más importante, puesto que el uso de equipos propios de oficina y de laboratorios, son parte de sus componentes principales.

Es recomendable que los registros a considerar sobre consumos energéticos del edificio, posean el nivel de detalle suficiente, es decir, registros desglosados por categoría de uso con un período mínimo de 12 meses. Sin embargo, dada la complejidad que ello representa en tiempo y recursos económicos, y tomando en cuenta el tipo y la cantidad de equipos especializados que se manejan en un laboratorio de este tipo, es sumamente difícil llegar a obtener directamente todos estos registros tan detallados.

Además de lo anterior, propiamente para el caso de equipos de laboratorios, el uso de estos varía considerablemente día a día, pues depende directamente de la cantidad de ensayos que se soliciten de parte de clientes externos o que se requieran a lo interno del laboratorio, para que estos se utilicen. Es por ello que obtener un registro anual referente a esta categoría de uso es sumamente complejo.

En el caso de la iluminación y los sistemas de aires acondicionados, estos sí pueden considerarse constantes a lo largo del tiempo, además de que, debido a su funcionalidad, la variación en el patrón de uso de éstos es prácticamente mínima. Eso hace que la estimación que se realice sea mucho más cerca a la realidad, a diferencia de lo que sería en el caso de los equipos de laboratorio.

Debido a lo expuesto anteriormente, es que el consumo correspondiente a los equipos de laboratorio, se estima mediante la diferencia, entre los consumos totales reales del edificio en estudio, y los consumos estimados referentes a iluminación y sistemas de aire acondicionado. De esa manera se obtiene un valor más real que permite visualizar y analizar más correctamente lo que se consume en el edificio.

A pesar de que el cálculo en cuanto al consumo energético de equipos de laboratorio se realiza como se detalló anteriormente (por diferencia entre consumos totales reales del

edificio en estudio, y los consumos estimados referentes a iluminación y sistemas de aire acondicionado), igualmente se presenta un registro de inventario de los equipos de cuatro laboratorios de los cuales se posee información suficiente para conocer sus características de consumo energético. Esto con el fin de dejar abierta la posibilidad de propuestas técnicas destinadas a nuevos sistemas o diseños electromecánicos, que puedan ser requeridos e implementados en aquellos equipos que se detecten que no estén siendo eficientes energéticamente.

Los registros de consumo energético recolectados, así como, el inventario detallado de los equipos de laboratorio, se detallan en los formularios realizados, que se muestran en el Apéndice B de recolección de la información. En cuanto a los resultados obtenidos de consumo, totales (Cuadro 3.1), de iluminación (Cuadro 3.2), de aires acondicionados (Cuadro 3.3) y de equipos de laboratorio (Cuadro 3.4), estos son los que se presentan a continuación.

**Cuadro 3. 1.** Consumo energético total más reciente del edificio (laboratorio de ensayos) en un período de un año

Período (mes – año)	Consumo energético mensual	
	Consumo (kWh)	Porcentaje (%)
Octubre 2014	27 120	9,04 %
Noviembre 2014	27 480	9,16 %
Diciembre 2014	23 040	7,68 %
Enero 2015	17 280	5,76 %
Febrero 2015	26 040	8,68 %
Marzo 2015	27 720	9,24 %
Abril 2015	21 840	7,28 %
Mayo 2015	26 880	8,96 %
Junio 2015	27 360	9,12 %
Julio 2015	23 640	7,88 %
Agosto 2015	25 440	8,48 %
Setiembre 2015	26 040	8,68 %
<b>TOTAL AÑO</b>	<b>299 880</b>	<b>100 %</b>

**Fuente:** Morera, 2015 con base en información suministrada por la Vicerrectoría de Administración de la Universidad de Costa Rica

**Cuadro 3. 2.** Consumo energético obtenido para el edificio (laboratorio de ensayos) referente a sistemas de iluminación

Registro de Luminarias	Consumo energético mensual	
	Consumo (kWh)	Porcentaje (%)
Primer Nivel	3 290,37	60,87 %
Segundo Nivel	2 115,26	39,13 %
Total mensual	5 405,63	100 %
<b>TOTAL AÑO</b>	<b>64 867.59 kWh</b>	

**Fuente:** Morera, 2015 con base en información recolectada en sitio

**Cuadro 3. 3.** Consumo energético obtenido para el edificio (laboratorio de ensayos) referente a sistemas de aires acondicionados

Registro de Sistemas de HVAC	Consumo energético mensual	
	Consumo (kWh)	Porcentaje (%)
Primer Nivel	2 515,72	31,72 %
Segundo Nivel	5 414,30	68,28 %
Total mensual	7 930,01	100 %
<b>TOTAL AÑO</b>	<b>95 160.15 kWh</b>	

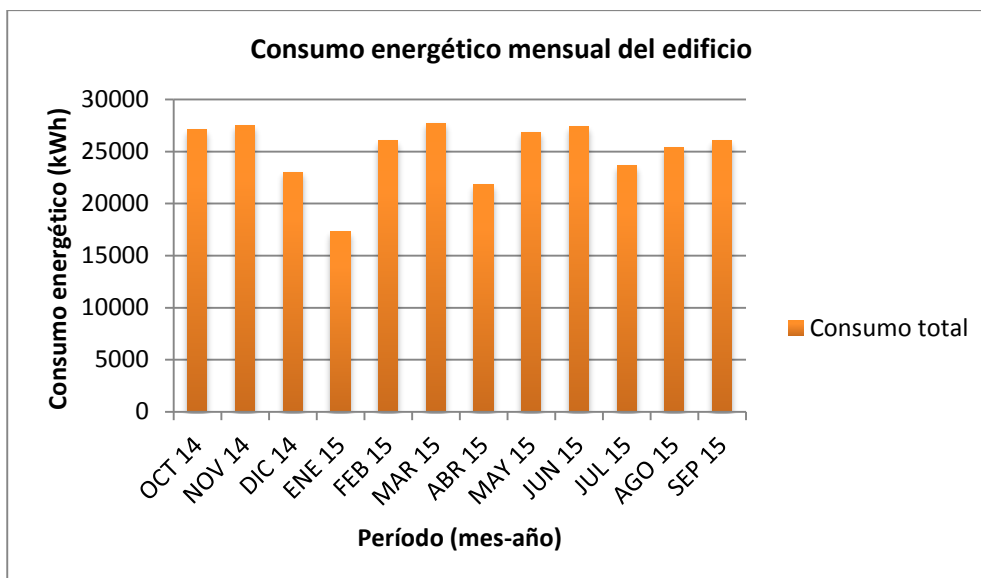
**Fuente:** Morera, 2015 con base en información recolectada en sitio

**Cuadro 3. 4.** Consumo energético obtenido para el edificio (laboratorio de ensayos) referente a equipos de oficina y laboratorio

Registro de Equipos de Laboratorio	Consumo energético mensual (kWh)
Promedio mensual	11 654,36
<b>TOTAL AÑO</b>	<b>139 852,26</b>

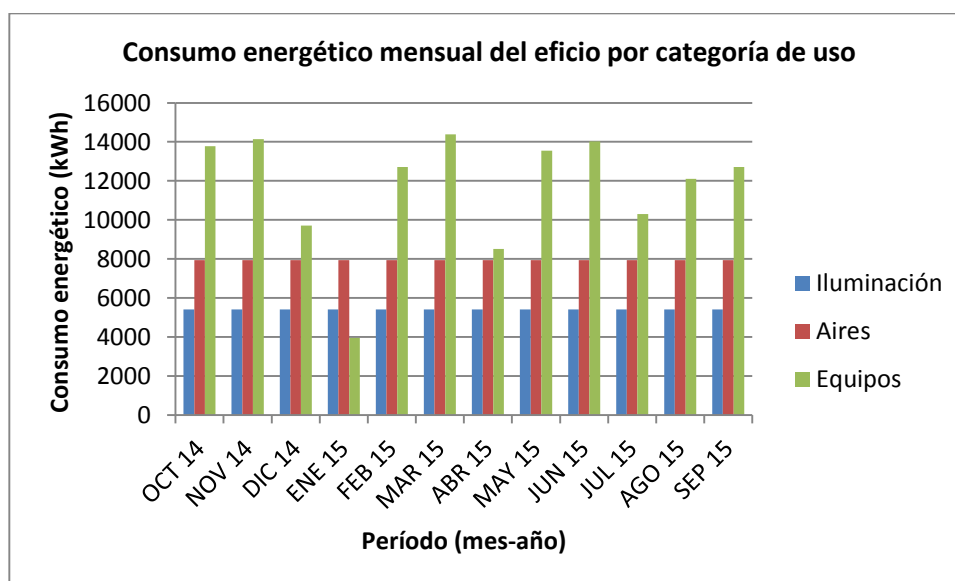
**Fuente:** Morera, 2015 con base en información tanto recolectada en sitio como suministrada por la Vicerrectoría de Administración de la Universidad de Costa Rica

En el caso de los equipos de oficina y laboratorio, dicho consumo es representativo de un mes y se obtiene mediante la diferencia del consumo promedio mensual del edificio, menos el consumo mensual debido a iluminación y aires acondicionados. En las Figuras 3.16 a 3.19 se muestra el registro de consumo energético total del edificio, así como los resultados obtenidos con respecto a consumos energéticos mensuales (totales y promedios) por categoría de uso.



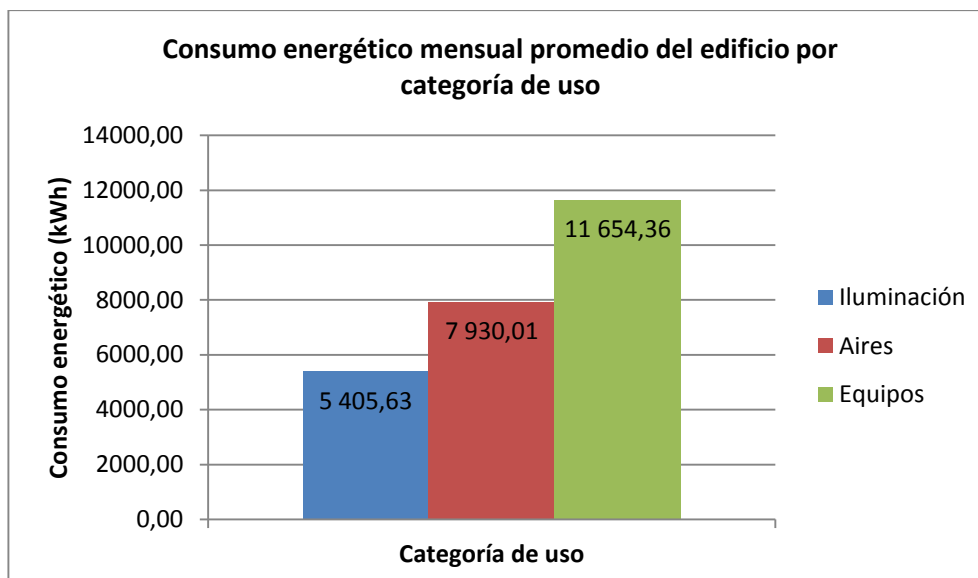
**Figura 3. 16.** Distribución de la energía total mensual consumida a lo largo de un período de un año en el edificio del laboratorio de ensayos

**Fuente:** Morera, 2015 con base en información suministrada por la Vicerrectoría de Administración de la Universidad de Costa Rica



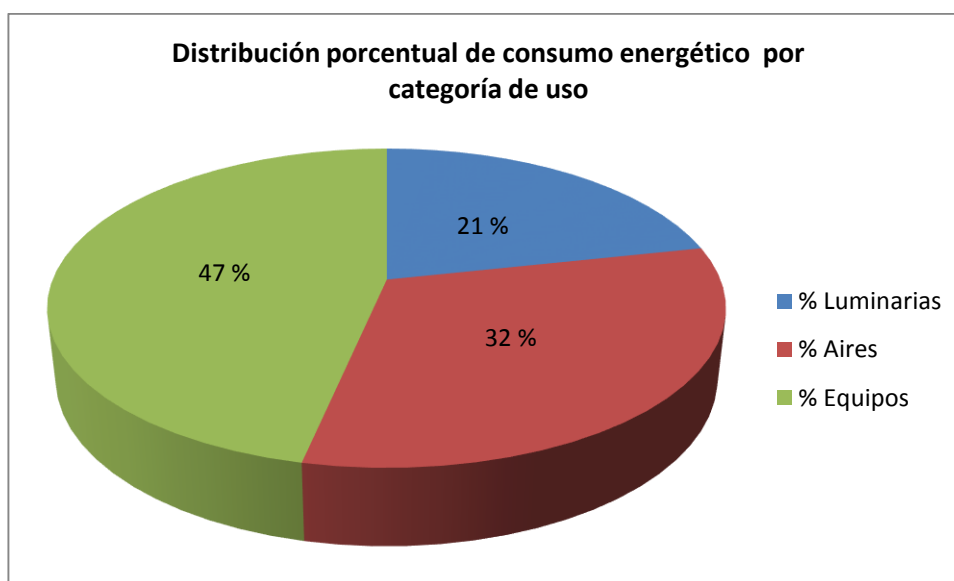
**Figura 3. 17.** Distribución de la energía mensual dividida según las categorías de uso en el edificio del laboratorio de ensayos

**Fuente:** Morera, 2015 con base en información tanto recolectada en sitio como suministrada por la Vicerrectoría de Administración de la Universidad de Costa Rica



**Figura 3. 18.** Distribución de la energía mensual promedio dividida según las categorías de uso en el edificio del laboratorio de ensayos

**Fuente:** Morera, 2015 con base en información tanto recolectada en sitio como suministrada por la Vicerrectoría de Administración de la Universidad de Costa Rica



**Figura 3. 19.** Distribución porcentual de la energía mensual promedio dividida según las categorías de uso en el edificio del laboratorio de ensayos

**Fuente:** Morera, 2015 con base en información tanto recolectada en sitio como suministrada por la Vicerrectoría de Administración de la Universidad de Costa Rica

Cada una de las gráficas anteriores brinda un panorama real del consumo energético del edificio en sus distintas categorías, lo que permite determinar qué sistemas son los más influyentes, y hacia dónde se deberían dirigir las mejoras para lograr la mayor reducción

en la huella de carbono del edificio. En tal sentido, se observa que, la intervención que mejor respuesta generaría es la de los equipos de laboratorio, seguido por los sistemas de aire acondicionado y finalmente las luminarias (los dos primeros grupos representan casi el 80 % del consumo energético).

Según la norma EN 15978:2012 detallada anteriormente, los sistemas de iluminación y de aires acondicionados pertenecen a la categoría de "Usos relacionados con el edificio" (primera categoría), y los equipos de oficina y laboratorios pertenecen a la categoría de "Otros usos no relacionados con el edificio" (tercera categoría), por lo que los resultados clasificados según dicha norma, son los que se muestran en el Cuadro 3.5. Se hace la salvedad de que los usos correspondientes a la segunda categoría (ascensores, persianas, seguridad, comunicaciones, y similares), no se han considerado al no ser significativos en el consumo energético del edificio en estudio.

**Cuadro 3. 5.** Consumo energético en el edificio (laboratorio de ensayos), en atención a dos categorías de uso, según la norma EN 15978:2012

<b>Categoría de uso</b>	<b>Consumo mensual (kWh)</b>	<b>Consumo anual (kWh)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Primera categoría:</b> Usos relacionados con el edificio (calefacción, refrigeración, ventilación, agua caliente sanitaria, iluminación y servicios auxiliares)	13 335,64	160 027,74	53,4 %
<b>Tercera categoría:</b> Otros usos no relacionados con el edificio (equipos de oficina y de laboratorios)	11 654,36	139 852,26	46,6 %
<b>Consumo total del edificio</b>	<b>24 990,00</b>	<b>299 880,00</b>	<b>100 %</b>

**Fuente:** Morera, 2015

Si bien la primera categoría sigue siendo la más importante a considerar en cuanto a consumo energético de un edificio en estado de operación, en el caso particular de este edificio, al ser un laboratorio de ensayos, los usos no relacionados con el edificio (equipos de oficina y laboratorios) representan una gran cantidad del consumo total (casi la mitad)



por lo que también deben ser tomados muy en cuenta para la propuesta e implementación de las mejoras.

### 3.3 Estimación de la huella de carbono para la condición actual

Una vez estimada la energía operacional en el edificio, se realiza la estimación de la huella de carbono de la edificación. Para ello, se multiplica la energía por un factor de emisión (FE) previamente calculado y publicado de manera oficial por el organismo correspondiente en cada país.

Estos FE generalmente provienen de factores de emisión promedio de acuerdo al tipo de energía y basado en fuentes de energía ya utilizada. Emisiones como las asociadas al consumo eléctrico, uso de combustibles en calderas o motores, o transporte por carretera, son diversos ejemplos de energías que requieren de distintos FE para su cálculo.

EL FE utilizado en este caso, es el necesario para el cálculo de emisiones asociadas al consumo eléctrico. En el caso de Costa Rica, los FE a utilizar, corresponden a los avalados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) publicados en su versión más reciente.

Para este trabajo en específico, se utiliza el FE publicado en el año 2015, por el Instituto Meteorológico Nacional en el documento "Factores de emisión gases efecto invernadero" en su quinta edición, correspondiente al caso de consumo de electricidad. Dicho FE corresponde a 0,1170 kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh.

Aplicando el FE indicado se obtiene la HC del edificio, unidad referente al impacto de calentamiento global del mismo, asociado a su etapa de uso de energía operacional. Las emisiones de GEI son entonces las mostradas en el Cuadro 3.6.

**Cuadro 3. 6.** Emisiones de GEI del edificio del LanammeUCR en un período de un año

Categoría de Impacto Ambiental	Unidad de referencia	Usos relacionados con el edificio	Otros usos no relacionados con el edificio	Total
Calentamiento Global	kg CO <sub>2</sub> -eq	18 723,25	16 362,71	35 085,96
	t CO <sub>2</sub> -eq	18,72	16,36	35,09

Fuente: Morera, 2015

De acuerdo con los resultados obtenidos, la HC correspondiente al edificio del LanammeUCR asociada a su etapa de uso de energía operacional, es de aproximadamente 35,09 t CO<sub>2</sub>-eq.

El cálculo de HC descrito anteriormente, sigue la metodología de la norma internacional ISO/TS 14067:2013, que por su naturaleza, minimiza razonablemente la incertidumbre y produce resultados exactos, coherentes y reproducibles (Ruiz, 2013), más aún, si se considera que los valores de consumo utilizados para el cálculo, son los consumos reales del edificio en estudio.

Con respecto a los resultados proyectados para obtener una nueva huella de carbono, a partir de la información suministrada principalmente por los fabricantes, se supuso un porcentaje de reducción tanto para equipos de laboratorio como para sistemas de aires acondicionados. Este procedimiento se consideró adecuado; sin embargo, no es posible cuantificar el sesgo que se pueda dar debido a los supuestos adoptados, dado que son proyecciones que se realizan para tener una aproximación bastante cercana de lo que se podría reducir la huella de carbono al implementar las medidas propuestas.

El detalle del procedimiento para cálculo y obtención de todos los resultados presentados anteriormente, está contenido en el Apéndice B: Memoria de cálculo de la estimación del consumo energético, de este trabajo.

## **CAPÍTULO 4. PROPUESTA TÉCNICA Y ESTIMACIÓN DE LA NUEVA HUELLA DE CARBONO**

Una vez obtenida la huella de carbono actual del edificio, se procede a desarrollar la propuesta técnica y la estimación de la nueva huella de carbono, los cuales se describen en este capítulo.

La propuesta técnica que se incluye en este capítulo, tiene como objetivo mejorar la eficiencia energética del edificio, y que a su vez permita reducir la correspondiente huella de carbono. Se da también un estimado del costo de implementación de la propuesta.

Como la norma nacional INTE 06-12-01:2012: RESET- *Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico* centra su atención en las decisiones de diseño, construcción y operación de una edificación en el trópico, se hace un análisis para apreciar la concordancia de la propuesta con lo que establece esta norma para la fase de operación del edificio. Cabe recordar que esta norma tiene su sustento en la norma PAS 2060 de uso en la determinación del estatus de carbono neutral, como también en el Estándar Nacional de Compensación de Carbono (NCOS, por sus siglas en inglés), que da una guía de compensaciones y requerimientos mínimos para calcular y compensar la HC y alcanzar la C-Neutralidad.

### **4.1 Propuesta técnica**

La propuesta técnica que se expone a continuación, se ha estructurado de acuerdo a las categorías que se han detallado en el capítulo 3, sección 3.2, con el fin de puntualizar las acciones que se recomiendan en cada una de ellas.

En un primer término, se plantean medidas de tipo general que contribuyen al ahorro energético pero que difícilmente pueden ser cuantificables. En un segundo término, se proponen cambios más específicos de equipos y sistemas que sí se pueden cuantificar y que representan reducciones significativas en el consumo energético de la edificación y, por tanto, en la reducción de la huella de carbono.

### **4.1.1 Equipos de laboratorio**

A continuación se indican medidas generales importantes a tomar en cuenta en el caso de los equipos de laboratorio, específicamente para motores, refrigeradores y hornos, que son parte de muchos de los equipos que se tienen en laboratorio. En general, las siguientes actividades contribuyen a la prevención y al ahorro de la energía.

#### **Eficiencia energética en motores eléctricos:**

1. Ajustar las conexiones tanto de las terminales del motor como del arrancado.
2. Lubricar el motor adecuadamente.
3. Revisar la temperatura de operación del motor, acorde con lo indicado por el fabricante.
4. Tomar lecturas de corriente y voltaje, y verificar que coincidan con los datos de placa del motor.
5. Conservar la placa del motor en buen estado.
6. Revisar que las aletas de enfriamiento del motor y la entrada del aire de enfriamiento no se encuentren obstruidas.
7. Tener disponible un inventario mínimo de repuestos y rodamientos.
8. Implementar un programa de mantenimiento preventivo.
9. Capacitar al personal técnico para dar un mantenimiento adecuado.
10. Considerar la compra de equipos nuevos más eficientes.

#### **Eficiencia energética en equipos de refrigeración:**

1. Emplear equipos y componentes de calidad.
2. Disminuir las fuentes de calor externas.
3. Colocar los equipos de refrigeración lejos de ventanas, paredes expuestas al sol y techos de lámina transparente.
4. Aislar los cuartos fríos y mantener las puertas cerradas.
5. Apagar las luces internas y tapar los recipientes dentro del cuarto frío.
6. Permitir la circulación del aire.
7. Apagar los equipos vacíos.
8. Realizar limpieza de condensadores.
9. Realizar mantenimiento periódico por parte de personal capacitado.
10. Revisar los termostatos.

11. Revisar el estado de empaques y sellos.
12. Cambiar periódicamente el aceite de los refrigeradores.
13. Revisar tuberías y aislamientos.
14. Considerar la compra de equipos nuevos más eficientes.

#### **Eficiencia energética en hornos:**

1. Asegurarse de cerrar la puerta cuando estén funcionando. Considerar que cada vez que se abre la puerta, se pierden entre 25 °C y 50 °C de temperatura.
2. Tratar de utilizarlos a su máxima capacidad, sino utilizar los microondas. El ahorro de energía puede alcanzar alrededor de 60 % a 70 %.
3. Apagar los microondas un poco antes de que se haya cumplido el tiempo estimado, ya que con el calor residual es suficiente para terminar de calentar las muestras.
4. Utilizar moldes metálicos de color oscuro o esmaltados, dado que absorben particularmente bien el calor.

#### **Eficiencia energética de equipos en general:**

1. No dejar aparatos o equipos encendidos innecesariamente.
2. Desenchufar los aparatos y equipos cuando no se van a utilizar más, de modo que se evite el consumo de electricidad debido al modo de stand-by.
3. Al comprar nuevos equipos, se deben considerar aquellos que sean energéticamente eficientes, que cuenten con su etiqueta, o que al menos indiquen el consumo de energía y la potencia eléctrica.
4. Implementar campañas mediante carteles y mensajes, que favorezcan el ahorro de la energía y promover que funcionarios, educadores y alumnos formen parte de las mismas.
5. Crear una comisión de energía o medioambiente, encargada de administrar y velar por el buen funcionamiento y mantenimiento de los equipos, y de fomentar las buenas prácticas sobre la energía.

A nivel general, se recomienda realizar estudios de los equipos de laboratorio, a aquellos a los que se les puedan identificar deficiencias o posibles mejoras, que por medio de diseños electromecánicos puedan representar una mayor eficiencia energética. Para ello, se puede acudir a la Corporación Interamericana de Inversiones (CII), que a través de su iniciativa GREENPYME, realiza auditorías energéticas gratuitas (BID, 2015).

Esas auditorías energéticas realizan diagnósticos que permiten identificar qué cambios pueden hacer las empresas en su consumo energético, para así bajar sus costos e incrementar su competitividad, por medio de buenas prácticas e inversión en equipos más eficientes. Además, permiten que las instituciones o empresas renueven sus equipos por completo a unos mucho más eficientes, a cambio de un porcentaje del ahorro económico que los nuevos equipos generarían a la empresa o institución. Se recomienda, ya sea, a corto o mediano plazo, valorar e implementar este tipo de iniciativas en específico.

#### **4.1.2 Sistemas de aires acondicionados**

Considerando el caso de los equipos actuales de aires acondicionados del edificio, a continuación se menciona una lista de medidas importantes a tomar en cuenta, que en general, contribuyen al mantenimiento adecuado y ahorro de la energía.

##### **Eficiencia energética en el uso de acondicionadores de aire:**

1. Establecer un nivel aceptable de confort (temperatura en 24 °C) e instalar dispositivos de control para regular el sistema de aire acondicionado de acuerdo a la temperatura requerida. Considerar que por cada grado menos de temperatura, se está consumiendo un 8 % más de energía.
2. Operar los compresores con el menor número de ciclos de apagado y encendido.
3. Apagar los equipos cuando no estén siendo utilizados.
4. Evitar mantener lámparas encendidas innecesariamente, ya que generan calor.
5. Disminuir la radiación solar con el uso de persianas o cortinas.
6. Mantener las puertas y ventanas cerradas cuando el sistema de aire acondicionado está en funcionamiento.
7. Asegurar que el flujo de aire se distribuya uniformemente en todo el espacio, evitando zonas con corrientes muy frías o calientes.
8. Colocar algún tipo de relleno o sello en las ranuras entre las puertas y marcos, o debajo de ellas (burlete), que eviten fugas del aire acondicionado.
9. Dar mantenimiento al menos dos veces al año, de manera que se limpien los filtros y se desechen adecuadamente los gases refrigerantes de los aires.
10. Adquirir equipos con una Razón de Eficiencia Energética (EER por sus siglas en inglés) mayor o igual a 10, como aquellos certificados con sello *Energy Star*.

11. Instalar unidades nuevas de condensación en el exterior y en un área bien ventilada lejos de la radiación solar.
12. Instalar sistemas nuevos de aires acondicionados en una ventana o pared cerca del centro de la estancia.
13. Minimizar el uso de tragaluces.
14. En caso de que se vayan a realizar obras de rehabilitación, se debe considerar implementar aislamientos térmicos eficientes en paredes y techos.
15. Usar vegetación en los alrededores del edificio para reducir la carga solar.

A nivel general, los equipos de aire acondicionado, llamados también sistemas de climatización o acondicionadores de aire, son uno de los principales elementos artificiales que existen en el mercado y que se utilizan para adquirir las condiciones de bienestar y confort térmico, que por sí mismas no se adquieren mediante condiciones naturales, debido a la escasa calidad térmica de los edificios.

El funcionamiento de un aire acondicionado, de manera general, consiste en aspirar el aire que se encuentra dentro de la estancia, por medio de un evaporador, e impulsarlo nuevamente dentro del recinto a una menor temperatura. Mientras que en la parte exterior, se produce la situación opuesta, un condensador toma aire del exterior y lo expulsa a una temperatura más alta (Baños, 2013).

En resumen, los aires acondicionados enfrían el aire del recinto a costa de calentar el aire del exterior. Si se invierte la posición del equipo, de manera que el evaporador que estaba en el interior del local se sitúe en el exterior, y el condensador que estaba en el exterior se sitúe ahora dentro del local, es posible invertir el ciclo de manera que, en verano funcione como una máquina frigorífica produciendo frío, y en invierno se apaguen contribuyendo al ahorro energético (se proporcionaría calor al recinto, sin embargo, es innecesario debido a la climatización natural de la zona). Este tipo de tecnología es llamada "INVERTER".

Además, según TechnoSys Soluciones S.A. (2015), este tipo de funcionamiento es más eficiente, principalmente porque mejoran el rendimiento sustancialmente manteniendo una temperatura constante. Al mismo tiempo son más baratos que los típicos aires de ventana (pueden llegar a ser hasta un 50 % más económico), son unidades más pequeñas y discretas y por lo tanto son menos invasivos, y además ahorran energía pues son mucho más eficientes.

En este trabajo se recomienda considerar este tipo de aires acondicionados para futuras inversiones (compras o sustitución de los aires actuales) del edificio. Los aires acondicionados Mini Split con tecnología Inverter, tienen capacidades de 12 000 btu, 18 000 btu y 24 000 btu según sea lo requerido. En el caso de los aires actuales, dichas capacidades también están registradas en el inventario de los aires acondicionados.

De acuerdo a los valores de capacidad de cada aire acondicionado, según las áreas de cada local, y para efectos de estimación de nueva HC y de presupuesto, se recomienda considerar lo siguiente:

- Compra de 4 unidades con capacidad de 12 000 btu para cambiar los aires actuales de las siguientes áreas: Oficinas 219, 230, 233 y 240.
- Compra de 3 unidades con capacidad de 18 000 btu para cambiar los aires actuales de las siguientes áreas: Aula 103 y oficinas 205 y 208.
- Compra de 6 unidades con capacidad de 24 000 btu para cambiar los aires actuales de las siguientes áreas: Cuarto MTS, cuarto UPS, salas 212 y 215 y oficinas 222 y 231.
- Mantener los dos aires del laboratorio de asfaltos y pavimentos, al ser requeridos de mayor capacidad, y el de la oficina de informática al ser relativamente nuevo.

#### **4.1.3 Sistema de luminarias**

En cuanto a los sistemas de iluminación, se detallan las medidas siguientes, que en general, favorecen el ahorro de la energía.

##### **Eficiencia energética en el uso de luminarias:**

1. Aprovechar mayormente la luz natural. Se pueden abrir las cortinas de las ventanas orientadas hacia el sur para permitir el paso del sol hacia el interior.
2. No utilizar cortinas para cubrir ventanas y superficies acristaladas en invierno, ya que se proporciona luz natural al interior y se permite la entrada de calor del sol.
3. Permitir el paso del sol durante el invierno, y el sombreado y la ventilación por la noche en verano.
4. Apagar las luces que no se estén utilizando y reducir niveles de iluminación hasta el mínimo necesario para las actividades que se realicen.



5. Instalar sistemas inteligentes de control de alumbrado, mediante sensores de apagado y encendido automáticos.
6. Reemplazar los balastros magnéticos por electrónicos.
7. Reemplazar las luces incandescentes por fluorescentes compactas de bajo consumo y mayor vida útil (ahorros de energía hasta de 80 %).
8. Instalar fluorescentes lineales para iluminación general.
9. Elaborar un plan de mantenimiento y limpieza para las lámparas y luminarias.
10. Utilizar colores claros en paredes, cielo raso y pisos, para reducir el uso de la iluminación artificial.
11. Si se requiere mayor ventilación, sin que exista la necesidad de invertir en aires acondicionados, se recomiendan instalar ventiladores de techo.
12. Implementar el uso de fuentes alternativas de energía, como por ejemplo la energía solar.

A través de la historia y por más de 100 años, se ha utilizado y se sigue utilizando el bombillo incandescente. Desde 1881 hasta la fecha, se han desarrollado múltiples variantes con una gran cantidad y calidad de sistemas de iluminación, no obstante, han resultado ser ineficientes en el consumo de la energía (Beccelieri, 2015).

Una de las más exitosas fue el desarrollo de la lámpara fluorescente, que actualmente es la que hoy ha sustituido al bombillo más eficientemente. A los inicios estos tuvieron ventaja sobre los bombillos debido a un asunto meramente económico, sin embargo, con el tiempo, este desarrollo se ha ido adaptando a la necesidad de reducir las emisiones contaminantes, en tiempos en los que el cambio climático ha sido aceptado como una realidad en el mundo.

Casi 30 años después de la invención del bombillo incandescente, Henry Joseph Round, un trabajador de la compañía Marconi, en 1907, aplicó voltaje a dos semiconductores de silicio creando con ello un primitivo diodo emisor de luz (LED) que logró emitir luz. Desde entonces hasta la actualidad, los diodos luminiscentes, más conocidos por sus siglas en inglés LED (Light-Emitting Diode), aún representan una novedad en el mercado de la iluminación debido a su potencial de desarrollo futuro en lo que se refiere a la eficiencia energética.

Esta tecnología es aún mejor que las lámparas de bajo consumo (fluorescentes) ya que tienen un menor consumo energético, bajo costo de mantenimiento, posee una mayor durabilidad por lo que es más larga su vida útil, reducen la contaminación lumínica, no

requieren de filamento ni gas para funcionar, no transforman la luz en calor, son fabricados con materiales reciclables y no contienen elementos contaminantes como el mercurio (Renovables Verdes, 2010).

Por lo descrito anteriormente, es que se recomienda el considerar la tecnología LED para futuros sistemas de luminarias del edificio, que puedan representar una gran oportunidad de mejora de eficiencia energética.

Para efectos de estimación de la nueva HC y de presupuesto, se obtuvo información en cuanto a tipos y precios de iluminarias LED que ofrecen en el mercado, proporcionados por una empresa líder en el desarrollo de soluciones profesionales de iluminación.

Considerando el tipo y la ubicación de cada una de las luminarias actuales, se recomienda para el edificio del LanammeUCR lo siguiente:

- Compra de 60 lámparas de tubo LED de 25 W, para cambiar los fluorescentes actuales con consumos superiores a los 32 W de las áreas de oficina y laboratorios.
- Compra de 72 lámparas UL705 LEDECO de 18 W, para cambiar los fluorescentes actuales con consumos superiores a los 32 W de las áreas de bodegas y espacios abiertos de la planta baja.
- Compra de 30 lámparas ULGALAXY de 7 W, para cambiar los bombillos incandescentes actuales de ambas plantas del edificio.
- Mantener los fluorescentes actuales de 32 W del edificio, pues son los de menor consumo y son una gran cantidad (aproximadamente 570 fluorescentes), por lo que su cambio significaría un costo excesivamente alto.

Como alternativa a considerar para los sistemas de iluminación y como tecnología que implementa el uso de fuente solar, se propone también el uso de tragaluces o lumiductos. Los tragaluces son ventanas generalmente situadas en el techo utilizadas para proporcionar luz solar a una habitación (Figura 4.1). En el caso de los lumiductos, consisten en un captador de luz natural en forma de tubo, que transmiten la luz al interior mediante un difusor (Figura 4.2). Estas tecnologías en general, son medianamente económicas, de fácil instalación, y contribuyen a la reducción del consumo energético, por lo que se recomiendan tomar en cuenta en la implementación de nuevos sistemas de iluminación.



**Figura 4. 1.** Implementación de tragaluces

**Fuente:** Mata, 2015



**Figura 4. 2.** Implementación de lumiductos

**Fuente:** Mata, 2015

#### **4.1.4 Fuente energética solar**

Como tema complementario a las propuestas antes desarrolladas, se plantean algunos datos y resultados importantes sobre el desarrollo de la tecnología solar. Este tipo de energía limpia, barata e inagotable, supone un enorme beneficio a largo plazo, permitiendo aumentar la sostenibilidad, reducir la contaminación, disminuir los costes de la mitigación del cambio climático, y evitar el aumento excesivo de los precios de los combustibles fósiles.

En cuanto a las fuentes de energía solar, la más desarrollada en la actualidad es la energía solar fotovoltaica. Los sistemas fotovoltaicos utilizan celdas para convertir la radiación solar

en electricidad, por medio de un campo eléctrico que se genera debido a la interacción de la luz con capas compuestas por un material semiconductor (generalmente silicio cristalino). Cuanto mayor sea la intensidad de la luz, mayor es el flujo de electricidad, sin embargo, no se necesita luz directa y brillante para producir electricidad.

En cuanto a su funcionamiento, se plantea que los sistemas fotovoltaicos (paneles solares) se integren al edificio, de manera que produzcan energía eléctrica para el consumo propio del mismo. Estos pueden colocarse sobre los tejados y fachadas del edificio. Cuando no hay sol, la electricidad se importa desde la red actual para el consumo propio. En estos casos, se utiliza un inversor que convierte la corriente continua producida de los paneles, en corriente alterna, que es la requerida para el funcionamiento de la mayoría de equipos eléctricos (IUSES, 2010).

Según el *Intelligent Use of Energy at School* (IUSES), en su documento "Uso de la energía en los edificios" (2010), las celdas fotovoltaicas comerciales representan aproximadamente el 90 % del mercado y poseen rangos de eficiencia que varían entre 12 % y 17 %. Según informes de la organización ecologista Greenpeace, este tipo de energía podría suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en el año 2030.

A nivel nacional, es sumamente importante que el LanammeUCR lidere en el uso de este tipo de fuentes renovables. Para ello, se plantea el invertir en el uso de paneles solares a fin de reducir el consumo eléctrico del edificio a futuro.

Para estimar la inversión y el retorno de la inversión, se utilizó una "calculadora de rebajas de facturas" puesta a disposición por la compañía energética IntiTech Solar en su página de internet.

De acuerdo a como se describe en la página, esta herramienta permite calcular en cuánto tiempo recuperaría su inversión en un sistema de conexión a la red. Para su funcionamiento, se agregan diversos parámetros tales como: el tipo de cambio de colones a dólar, la tarifa de electricidad, un porcentaje de aumento de tarifas, las horas de radiación directa de la región, y un consumo mensual promedio.

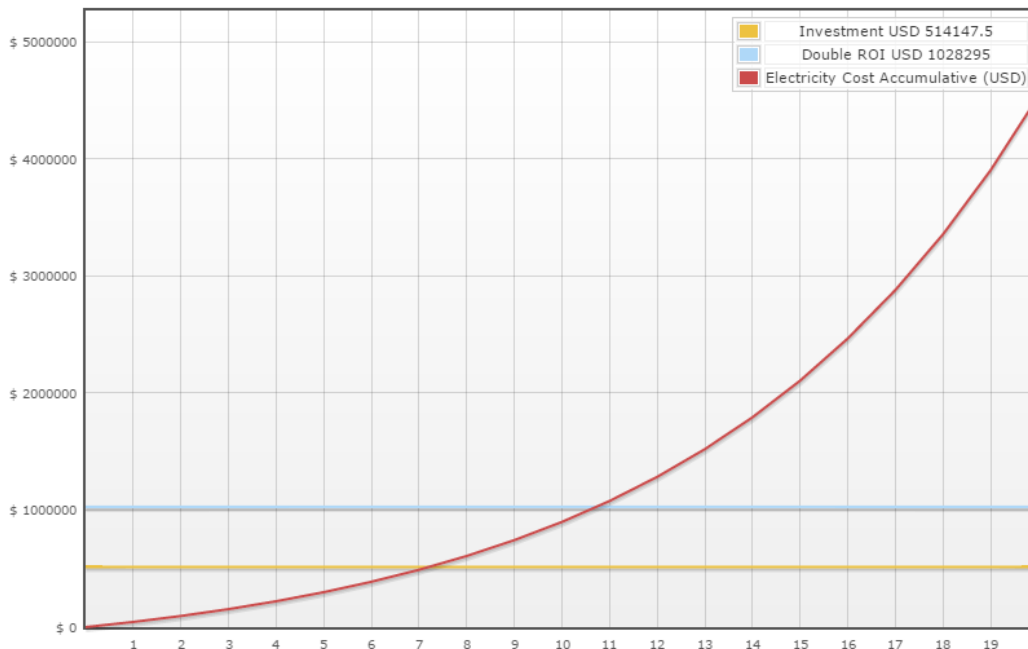
Los resultados obtenidos permiten estimar el tamaño necesario del sistema, la inversión aproximada y los tiempos de recuperación correspondientes según el consumo que se

genere y considerando un costo aproximado de \$ 2,5/watt, valor estimado por la Asociación Costarricense de Energía Solar (ACESOLAR, 2015).

Utilizando la herramienta mencionada anteriormente, y considerando el consumo total anual que se genera en el edificio del LanammeUCR, se obtiene que, se debe invertir un aproximado de \$ 515 000 para un sistema equivalente de 205 660 W. El periodo de recuperación sería de 7,2 años, llegando a duplicar la recuperación en 3,7 años más tarde si se mantiene la eficiencia de los paneles.

En la Figura 4.3, se muestra la rentabilidad de la inversión del caso planteado. Se detalla en cuántos años se lograría recuperar la inversión y en cuántos años esta se duplicaría. Se debe tomar en cuenta que estos sistemas tienen una garantía de 25 años, y duran más de 40 años, por lo que a través de los años el sistema continuaría añadiendo valor a la inversión.

Adicionalmente, en el Cuadro 4.1, se muestra el ahorro de pago anual, el ahorro acumulativo y el retorno de la inversión, que podría alcanzarse durante los primeros 20 años de vida de los paneles, ante el caso planteado.



**Figura 4. 3.** Gráfica de rentabilidad de la inversión para el consumo del edificio LanammeUCR

**Fuente:** IntiTech Solar, 2015 con base en información suministrada por Morera

**Cuadro 4. 1.** Ahorro y retorno de la inversión para el consumo del edificio LanammeUCR

Año	Ahorros de pago (\$)	Ahorros acumulativos (\$)	Retorno de la inversión (\$)
1	44 281,35	442 81,35	
2	50 923,55	952 04,89	
3	58 562,08	153 766,97	
4	67 346,39	221 113,37	
5	77 448,35	298 561,72	
6	89 065,60	387 627,32	
7	102 425,44	490 052,76	
8	117 789,26	607 842,02	93 694,52
9	135 457,65	743 299,67	229 152,17
10	155 776,30	899 075,97	384 928,47
11	179 142,74	1 078 218,71	564 071,21
12	206 014,15	1 284 232,86	770 085,36
13	236 916,28	1 521 149,14	1 007 001,64
14	272 453,72	1 793 602,85	1 279 455,35
15	313 321,77	2 106 924,63	1 592 777,13
16	360 320,04	2 467 244,67	1 953 097,17
17	414 368,05	2 881 612,71	2 367 465,21
18	476 523,25	3 358 135,96	2 843 988,46
19	548 001,74	3 906 137,70	3 391 990,20
20	630 202,00	4 536 339,71	4 022 192,21

**Fuente:** IntiTech Solar, 2015 con base en información suministrada por Morera

Se debe destacar que el consumo utilizado para la estimación anterior representa la condición máxima de consumo, que se realizó para generar una idea global del monto máximo de inversión que podría realizarse. Sin embargo, en la realidad, se debe cumplir con la normativa nacional vigente, que no permite instalar sistemas de paneles solares para el consumo total de una edificación. Por otra parte, el monto de la inversión puede ser financiado durante el periodo de recuperación, por lo que no es necesario desembolsar la totalidad de la inversión en un solo pago.

Adicionalmente, se debe revisar también, la factible distribución y ubicación que podrían tener los paneles sobre el techo del edificio, para poder optar por un sistema de mayor o menor magnitud. Como información complementaria, se detallan una serie de aspectos y recomendaciones referentes al diseño e instalación de los sistemas de paneles solares, que deberán ser tomados en cuenta para su implementación (Collahuasi, s.f.).

- Definir en primer lugar la ubicación de los paneles, donde vayan a recibir la mayor cantidad de luz solar en las horas más potentes del día (10 a.m. a 3 p.m.). Una vez definido donde se van a ubicar, se determina con mayor certeza el tamaño de los paneles requeridos.

- La estructura de techo o tejado a utilizar para colocar los paneles, debe estar preferiblemente inclinada y orientada hacia el sur para que estos capturen la mayor cantidad de luz posible.
- No deben haber sombras de árboles ni de estructuras o edificios adyacentes, sobre el techo del edificio en estudio.
- El techo debe ser capaz de resistir el peso de la estructura de paneles y un peso adicional para su instalación y mantenimiento.
- Se debe contemplar la instalación de inversores que transformen la corriente continua (D.C.) producida por los paneles, en corriente alterna (A.C.), para que la electricidad producida sea compatible con la línea de distribución.
- Se recomienda proteger la instalación de paneles de las descargas eléctricas naturales.
- Se recomienda dar mantenimiento a los paneles cada cierto tiempo, pues el polvo y los excrementos de las aves se convierten en obstáculos para captar la radiación solar.

A nivel de costos e inversión, se deberá realizar una cotización de servicios, que contemplen el diseño, equipo e instalación de los paneles solares, de acuerdo al dimensionamiento y distribución de techos del edificio, así como, el consumo real que se permita cubrir y el financiamiento disponible que se pueda negociar.

## **4.2 Estimación de la nueva huella de carbono**

Es necesario que se apliquen las medidas generales que se han descrito anteriormente para favorecer el ahorro inmediato de la energía, sin embargo, como se mencionó antes, es difícil cuantificar cuánto se puede reducir el consumo energético según la aplicación de dichas medidas (tal reducción sería medible con la adopción de equipos de mayor eficiencia, es decir, de menor consumo energético). Es por ello que, con el fin de estimar la reducción de consumo y HC, se consideró únicamente las propuestas planteadas para el cambio de equipos y sistemas del laboratorio, descritas también en la sección anterior.

Equipos eléctricos modernos como, por ejemplo, refrigeradoras, congeladores, hornos, lavadoras y secadoras, utilizan menos energía que los equipos más viejos. Por ejemplo, los refrigeradores nuevos utilizan un 40 % menos de energía de la que consumían los equipos convencionales hacia el año 2001 (Naranjo, 2010).

En el caso del laboratorio en estudio, una gran mayoría de equipos fueron adquiridos anterior al año 2001, por lo tanto, si se realizara una auditoría energética, y se llegaran a sustituir los equipos eléctricos por nuevos, se podrían llegar a ahorrar 55 940,91 kWh de electricidad al año, reduciendo 6 545,09 kg de emisiones de CO<sub>2-eq</sub>. Dado lo anterior, el ahorro de energía representaría aproximadamente un 18,65 % del consumo total anual del edificio.

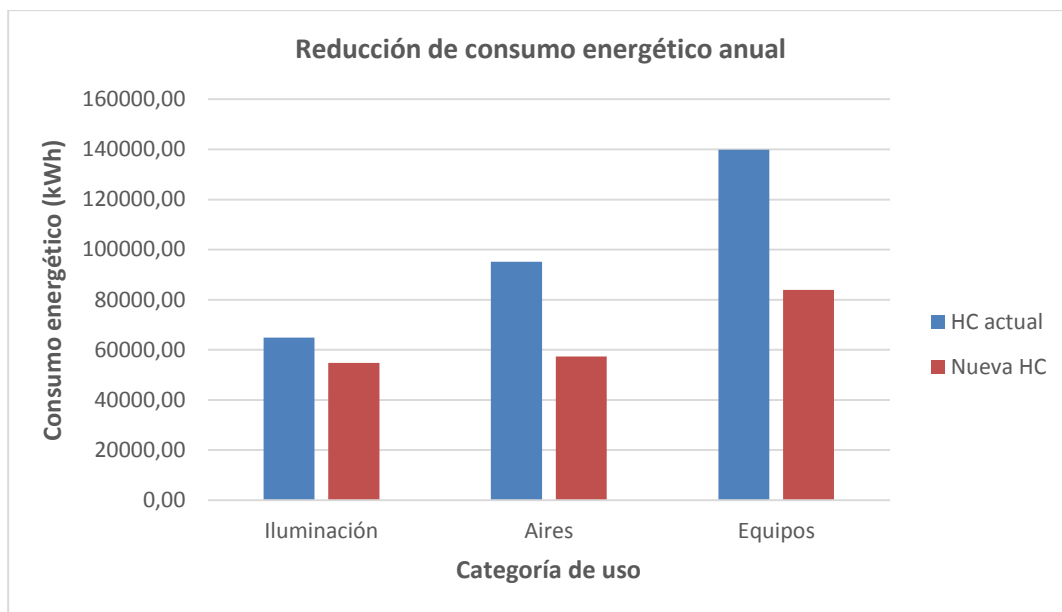
En el caso de los aires acondicionados, de acuerdo con Climadesign, la tecnología INVERTER consume entre un 30 % y un 40 % menos de energía que los equipos convencionales. Si se toma en cuenta el cambio de las 13 unidades descritas en la propuesta técnica, se podrían llegar a ahorrar 37 799,31 kWh de electricidad al año y se reducirían 4 422,52 kg de emisiones de CO<sub>2-eq</sub>. El ahorro de energía correspondería aproximadamente a un 12,60 % del consumo total anual del edificio.

Con respecto a la iluminación, de acuerdo al consumo de las luminarias descritas en la propuesta técnica, la implementación de tecnología LED en las lámparas especificadas, representan un ahorro de 10 070,25 kWh de electricidad al año, con una reducción de 1 178,22 kg de emisiones de CO<sub>2-eq</sub>. El ahorro de energía sería de 3,36 % del consumo total anual del edificio.

Entonces, al considerar los cambios en equipos eléctricos, aires acondicionados y luminarias, la reducción total esperada es de aproximadamente 12,15 kg de emisiones de CO<sub>2-eq</sub> (lo cual es equivalente a un 34,62 % de ahorro de la energía anual del edificio), con una nueva huella de carbono de 22,94 t CO<sub>2-eq</sub>.

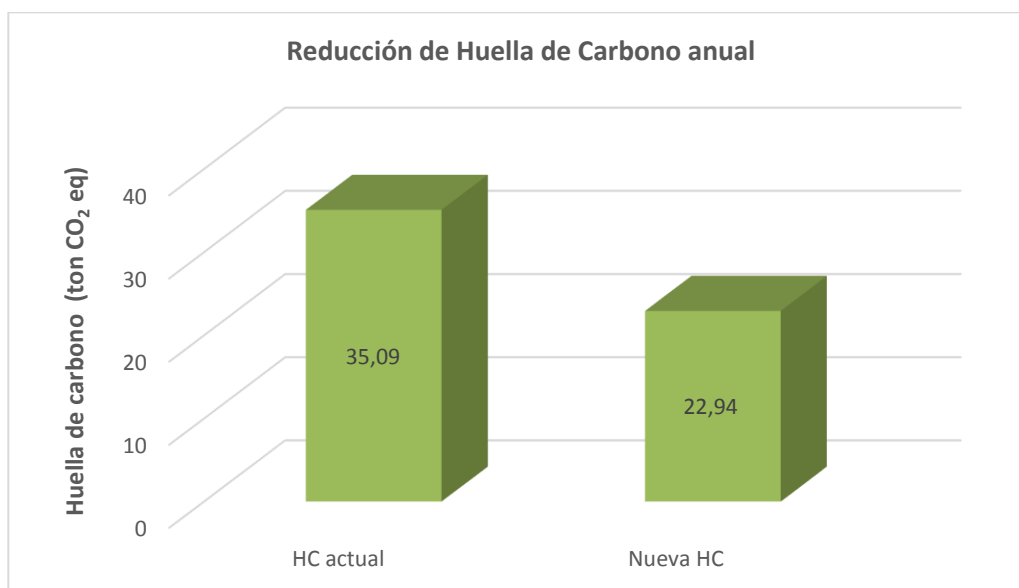
En las Figuras 4.4 y 4.5 se muestran los resultados obtenidos de la nueva huella de carbono de acuerdo a lo descrito anteriormente.





**Figura 4. 4.** Comparación entre el consumo energético actual y proyectado, según la propuesta técnica presentada para el edificio del LanammeUCR

**Fuente:** Morera, 2015 con base en información tanto recolectada en sitio como suministrada por la Vicerrectoría de Administración de la Universidad de Costa Rica



**Figura 4. 5.** Comparación entre la huella de carbono actual y nueva, según la propuesta técnica presentada para el edificio del LanammeUCR

**Fuente:** Morera, 2015 con base en información tanto recolectada en sitio como suministrada por la Vicerrectoría de Administración de la Universidad de Costa Rica

### 4.3 Estimación del costo de la implementación de la propuesta

La estimación del costo de la implementación de la propuesta puede variar dependiendo de las medidas que decidan aplicarse.

En la sección 4.1: Propuesta técnica, se desglosaron diversas medidas generales, que, contribuyen en alguna medida al ahorro energético, pero, de las cuales no hay certeza del costo de implementación que estas puedan representar. Adicionalmente, se presentaron propuestas de inversión a futuro, las cuales representan un ahorro mucho más significativo, y que además, si pueden ser estimables. Es por ello que, en esta estimación del costo de la implementación, se considera únicamente lo que puede representar la inversión a futuro, con los precios actuales del mercado, y considerando un negocio de auditoría energética gratuita, en referencia a los equipos de laboratorio. El detalle se muestra en el Cuadro 4.2.

**Cuadro 4. 2.** Detalle de presupuesto para inversión a futuro del edificio del LanammeUCR

Sistema	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Lámpara LED ULGALAXY de 7 W	30	¢ 27 740	¢ 832 200
Luminaria UL705 LED 48 de 2 x 18 W	72	¢ 56 470	¢ 4 065 840
Luminaria Tubo LED HW-L12S de 25 W	60	¢ 53 100	¢ 3 186 000
Aire acondicionado Mini Split Inverter 12000 btu	4	¢ 320 000	¢ 1 280 000
Aire acondicionado Mini Split Inverter 18000 btu	3	¢ 460 000	¢ 1 380 000
Aire acondicionado Mini Split Inverter 24000 btu	6	¢ 555 000	¢ 3 330 000
Auditoría energética	-	-	¢ 0
TOTAL	-	-	¢ 14 074 040

**Fuente:** Morera, 2015

Según los resultados obtenidos y a partir del último registro de consumo del LanammeUCR, es posible recuperar la inversión propuesta en un tiempo de 21,5 meses (ver detalle de cálculo en Apéndice B).

El resultado anterior se obtiene de manera global, sin embargo, a nivel individual por categoría, el tiempo de recuperación varía considerablemente. Para el caso de equipos, la recuperación inicia inmediatamente, una vez realizada la auditoría energética e instalados

los nuevos equipos eficientes. En el caso de los aires acondicionados, la recuperación se daría en poco más de 2 años; y en el caso de las luminarias, la inversión tardaría hasta casi 10 años en recuperarse.

Dado lo anterior, se debe dar prioridad a la auditoría energética que permita invertir en equipos más eficientes y en un ahorro inmediato. Para el caso de aires acondicionados y luminarias, la inversión puede darse gradualmente a mediano o largo plazo, ya que la inversión es más fuerte y el tiempo de recuperación es mayor.

Por otra parte, a pesar de que no se consideró en el presupuesto la inversión en paneles solares, ésta debería darse en el corto o mediano plazo, ya que es una solución inmediata para reducir el consumo periódico del edificio. De igual manera se debe dar prioridad a aplicar todas las medidas generales que se han recomendado, y que representan oportunidades de reducción de energía con un costo no significativo.

#### **4.4 Propuesta técnica y concordancia con la norma RESET**

La norma Requisitos para Edificios Sostenibles en el Trópico (RESET) establece un instrumento que tiene un énfasis en las decisiones de diseño, construcción, y operación de una edificación en el trópico. Es una herramienta que busca facilitar y revisar decisiones de proyecto, que sirva como indicador y pauta, para incorporar criterios responsables con el entorno.

Esta norma nace bajo la necesidad de disponer de una normativa que surgiera del oficio de la arquitectura y de su potencial para aportar soluciones viables y de costo razonable, de modo que las edificaciones fueran certificadas como construcción sostenible, más por sus soluciones bioclimáticas que por la incorporación de nuevas tecnologías.

De esa manera, se prefiere agotar el potencial del diseño antes de recurrir al uso de las tecnologías, el cual además, se indica, debe ser moderado y solo cuando es indispensable. Es así como la norma RESET concibe las tecnologías, como un complemento del diseño y no como un sustituto. Sin embargo, como se ha descrito antes, en el caso de edificaciones ya construidas en estado de operación, la opción del diseño (o más bien, modificación de este) se vuelve más complejo y más costoso.

La norma, se ha diseñado para evaluar la edificación en cada etapa específica de su ciclo de vida (diseño, construcción y/u operación), no obstante, para ello se requiere disponer de los datos de gestión socioeconómica del proyecto, así como registros de información pertinentes de cada etapa, con el fin de obtener resultados más precisos para la evaluación.

La norma está compuesta por 7 capítulos de evaluación (del 7 al 13), que abarcan diferentes requisitos referentes a aspectos del diseño y construcción de la edificación. Los capítulos que se desarrollan son: aspectos socio-económicos, entorno y transporte, calidad y bienestar espacial, suelos y paisajismo, materiales y recursos, uso eficiente del agua y optimización energética, siendo este último el que más influye para este trabajo en específico.

De acuerdo con la norma RESET (capítulo 13: Optimización de la energía, ver en Apéndice C), el edificio del LanammeUCR tiene un puntaje de 26 puntos, por lo que la edificación se clasifica como una categoría de mediano impacto (16 a 30 puntos requeridos).

En el capítulo 6 se presenta una guía para determinar los estudios preliminares del proyecto, definidos como estudios técnicos requeridos para evaluar criterios referentes a áreas de riesgo, características del suelo, y recursos bióticos y culturales del área del proyecto; sin embargo, en este caso, como el edificio ya ha sido construido, este no se toma en cuenta.

En los siguientes capítulos de la norma RESET se desarrollan los distintos criterios para la evaluación del diseño y construcción del edificio. Como la norma está orientada especialmente hacia el diseño, muchos de los criterios indicados en la norma, no aplican, considerando la propuesta técnica realizada. El detalle de estos criterios, y la justificación y resultados de cada uno de estos, pueden observarse en el Apéndice C.

Como se mencionó anteriormente, el capítulo más influyente debido al énfasis de este trabajo y de la propuesta técnica, es el capítulo 13 de "Optimización de la energía". En este capítulo se presentan ocho criterios, de los cuales se apunta hacia dos temas principales: el uso de fuentes renovables de energía limpia, y la reducción del consumo de energía haciendo conciencia en el consumo.

Si se compara este capítulo de la norma con la propuesta técnica realizada, ambas se refieren a la importancia del aprovechamiento de la luz y la ventilación natural, de manera que se reduzca lo máximo posible el uso de iluminación y aires artificiales, y que cuando estos se utilicen, se haga de la manera más adecuada posible. De igual manera, se hace énfasis en utilizar equipos que cumplan con normativas de eficiencia energética, y que se cuente con dispositivos para control de consumo pasivo.

En cuanto a resultados obtenidos, los criterios aplicables a la etapa operacional del edificio, son alrededor de 33, de los cuales, 25 están conformes con la situación actual del edificio (ver detalle en el Apéndice C de este trabajo), mientras que los 8 restantes, representan oportunidades de mejora a futuro. En el Cuadro 4.3 se resumen los criterios a considerar para posibles mejoras a futuro del edificio en estudio.

**Cuadro 4. 3.** Oportunidades de mejora para el proyecto en estudio según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012)

Apéndice C.4 Calidad y bienestar espacial	En caso de vidrios expuestos a radiación solar se utilizan materiales que minimicen su impacto
	Se utiliza vegetación para mitigar efectos de temperatura, humedad y contaminación
	Se utilizan muros para enfriar y/o calentar el edificio por absorción y liberación de calor
	Se utiliza equipo eficiente energéticamente y que minimiza la emisión de agentes contaminantes
	Se propicia el confort mediante la ventilación natural
Apéndice C.8 Optimización de la energía	Se calienta el agua con fuentes renovables
	Se utiliza equipo que cumple con normativa de eficiencia energética
	Se cuenta con dispositivos para control de "consumo pasivo"

**Fuente:** Morera, 2015

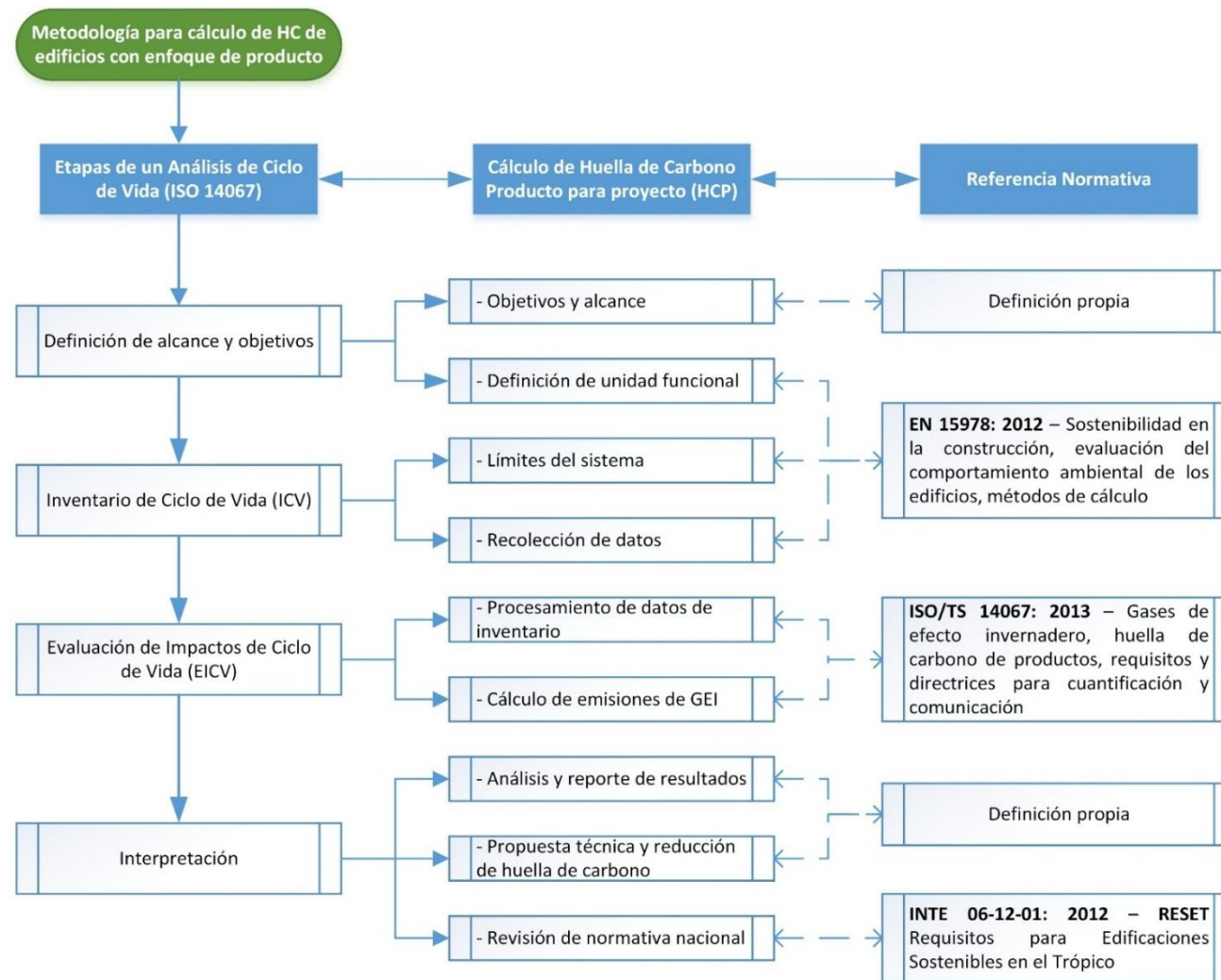
Si bien la norma está orientada prácticamente hacia el diseño y construcción de una edificación, se tiene que, en cuanto a eficiencia energética, los criterios y principios que se establecen, van en la misma dirección con lo expuesto en la propuesta técnica.

## **4.5 Metodología obtenida e implementada**

Como parte de los resultados obtenidos del trabajo realizado, se desprende también una metodología para calcular la huella de carbono de un edificio, considerándose como enfoque de producto.

El procedimiento obtenido está basado principalmente en la norma estándar ISO/TS 14067:2013, adaptada a Costa Rica en 2015, la cual describe las etapas a considerar en un estudio de ACV con enfoque de producto. Estas etapas, se adaptaron a pasos que describen todo el procedimiento hasta obtener y estimar la reducción de huella de carbono. Dichos pasos, a su vez, se realizaron tomando como base una referencia normativa asociada, o bien, implementados por definición propia, de acuerdo al trabajo desarrollado.

Resumiendo en forma esquemática, la metodología obtenida y utilizada, es la que se muestra a continuación (Figura 4.6).



**Figura 4. 6.** Metodología obtenida para medición de huella de carbono en edificios con enfoque de producto

**Fuente:** Morera, 2015

En el desarrollo del trabajo se presentaron las metodologías que se deben considerar en un trabajo de esta índole, sin embargo, en términos generales y como parte de las conclusiones obtenidas del trabajo, no todas son aplicables directamente al caso de estudio.

La norma internacional ISO/TS 14067:2013 principalmente utilizada, está basada en la norma PAS 2050:2011 y en el grupo de normas ISO 14044:2006, por lo que estas han sido consideradas indirectamente.

Además de la normativa principal utilizada, también se contemplaron la norma europea EN 15978:2012 que está dirigida directamente al ACV de edificios y sus métodos de cálculo; así como la norma nacional *RESET*, INTE 06-12-01:2012, utilizada con el fin de verificar y validar la propuesta presentada.

En cuanto a las normas que no han sido contempladas directamente, se encuentra el caso de las normas ISO 14064:2006, las cuales deberán considerarse más profundamente si se realiza el ACV mediante un enfoque de organización; y las normas internacional PAS 2060:2010 y nacional INTE 12-01-06:2013, las cuales deberán considerarse, si el fin del trabajo está enfocado hacia demostrar la carbono neutralidad del edificio en estudio.

Una vez definidas las normas a seguir, se desprende también un procedimiento específico de cómo estimar la huella de carbono de un edificio en estado operativo, y de cómo recalcular la huella de carbono, una vez que se presenta una propuesta técnica, soluciones o recomendaciones, para mejorar la eficiencia energética y con ello, reducir la huella de carbono.

En primera instancia, se definen los objetivos y el alcance del proyecto según la investigación realizada, y posteriormente los límites del sistema de acuerdo a la normativa propuesta. En este caso, de acuerdo a la investigación realizada, se determinó que la mayor influencia de huella de carbono en un edificio en estado operativo, la genera el uso de energía operacional y por ello la definición del alcance de este trabajo.

Una vez definido el límite del sistema, se procede a la recolección de datos. Siguiendo la norma establecida, se determinan las fuentes de consumo energético del edificio; se dividen en categorías que sean fáciles de agrupar, medir y estudiar de manera similar, tal y como se ha propuesto para sistemas de iluminación, aires acondicionados y equipos de laboratorio; y se



realiza un inventario acondicionado a cada categoría, que permita registrar la información necesaria para estimar el consumo de energía posteriormente.

Con los inventarios formulados, se procede a realizar distintas visitas a campo, para obtener toda la información requerida de cada una de las categorías. Además, también se debe localizar e identificar el número de medidor del edificio, con el que es posible solicitar los consumos totales correspondientes. Para ello, se debe solicitar su permiso y colaboración a la instancia competente, en el caso específico de la Universidad de Costa Rica se trata de la Vicerrectoría de Administración, instancia que mantiene el registro de los consumos energéticos de todos los edificios de la Universidad de Costa Rica.

Posteriormente, se procesan los datos que permitirán estimar el consumo por categoría del edificio en estudio y finalmente el consumo total anual. Siguiendo la norma ISO/TS 14067:2013 se estima el consumo energético de al menos un año del edificio. Esto se puede obtener, ya sea estimando el consumo de cada categoría proyectado a un año, o bien, utilizando el consumo real a lo largo de un año, en dependencia de la complejidad del edificio o de las dificultades que puedan aparecer al obtener la información real de consumo.

De acuerdo a la misma norma, se obtiene la huella de carbono, multiplicando el consumo total del edificio por el factor de emisión correspondiente, como parte de la metodología utilizada de huella de carbono equivalente. Como resultado de este procedimiento, se obtiene tanto la huella de carbono del edificio, así como los porcentajes de consumo energético asociados a cada categoría, lo cual permite identificar en qué sectores se deben proponer nuevas acciones, equipos o sistemas, que permitan aumentar la eficiencia energética, y con ello reducir el consumo y la huella de carbono del edificio.

Es importante tomar en cuenta que cuando la recolección de datos de una categoría sea realmente compleja, como por ejemplo, para el caso de los equipos de laboratorio, dada su delicadeza, cantidad y tipo de equipos; se puede estimar el porcentaje correspondiente disponiendo del consumo total real y del consumo estimado de las demás categorías mediante su diferencia, tal y como se realizó para este proyecto (ver detalle de cálculo en Apéndice B y resultados en Cuadro 3.4); de ahí la importancia de contar con la información de los datos de consumo reales del edificio. Si no se dispone de estos datos, es estrictamente necesario realizar

el inventario detallado para cada categoría hasta obtener un consumo total estimado para cada una de ellas.

Finalmente, basado en los resultados obtenidos, se elabora una propuesta técnica orientada a reducir la huella de carbono de cada una de las categorías; se estima la magnitud y el porcentaje de reducción total; y se revisa la concordancia de la propuesta técnica presentada con lo estipulado en la norma nacional RESET.

Es importante recordar que como parte del alcance del trabajo, se ha considerado para la cuantificación de huella de carbono, únicamente la energía operacional de la etapa operativa, que representa entre 85 % y 90 % del peso de las fases del ciclo de vida de un edificio, excluyendo así aquellas fuentes de GEI directas o indirectas cuya contribución a las emisiones no se consideran significativas (menos del 10 % respecto al total de las emisiones).

De igual forma, se debe recalcar que en el estudio realizado se ha excluido del análisis el transporte de funcionarios y estudiantes del LanammeUCR, así como las emisiones generadas por otras fuentes de combustión (consumo de alimentos, agua, desechos orgánicos, gases refrigerantes, etc.) que no se consideran como parte de la etapa operacional energética del edificio en estudio.

## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

En el edificio del LanammeUCR, del consumo energético del edificio, los equipos consumen casi el 50 %, los aires acondicionados alrededor del 30 % y las luminarias cerca del 20 %. Por ende, los sistemas más influyentes a los cuales se deberían dirigir las mejoras para lograr la mayor reducción en la huella de carbono del edificio son, en primer término, los equipos de laboratorio, seguido por los sistemas de aire acondicionado y finalmente las luminarias.

De acuerdo con el procedimiento utilizado para la determinación de la huella de carbono del edificio (ISO/TS 14067: 2013: *Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para cuantificación y comunicación*), el consumo actual en el edificio del LanammeUCR es de alrededor de 299 880 kWh al año, lo que genera una huella de carbono anual de 35,09 t CO<sub>2</sub>-eq.

La propuesta técnica que se generó está enfocada a atender las necesidades a corto plazo, mediante la aplicación inmediata de medidas de prevención y mantenimiento, así como también, a mediano o largo plazo, mediante la inversión en equipos y sistemas de aires y luminarias más eficientes, que puedan representar reducciones significativas en el consumo energético de la edificación y, por tanto, en la reducción de la huella de carbono.

La reducción del consumo energético en el edificio, se puede lograr adoptando medidas generales que mejoren la eficiencia energética en motores eléctricos, equipos de refrigeración, hornos y equipos en general, aires acondicionados y luminarias; no obstante, es difícil cuantificar la reducción en el consumo energético debido a las medidas adoptadas.

De sustituirse todos los equipos eléctricos actuales por nuevos, el ahorro anual en electricidad sería aproximadamente de 55 940,91 kWh lo que permitiría reducir 6545,09 kg de emisiones de CO<sub>2</sub>-eq. Dado lo anterior, el cambio de electrodomésticos viejos por nuevos representa un gran ahorro de energía (aproximadamente un 18,65 % del consumo total anual del edificio).

En el caso de los aires acondicionados, el cambio de las 13 unidades descritas en la propuesta técnica, representaría un ahorro de 37 799,31 kWh de electricidad al año y se reducirían a su

vez 4422,52 kg de emisiones de CO<sub>2-eq</sub>. El ahorro de energía correspondería a un 12,60 % del consumo total anual del edificio.

Con respecto a la iluminación, de implementarse la tecnología LED en las lámparas especificadas en la propuesta técnica, se lograría un ahorro de 10 070,25 kWh de electricidad al año, y a su vez, una reducción de 1178,22 kg de emisiones de CO<sub>2-eq</sub>. El ahorro de energía correspondería a 3,36 % del consumo total anual del edificio.

De concretarse en su totalidad los cambios en equipos eléctricos, aires acondicionados y luminarias, la reducción total esperada de emisiones es de aproximadamente 12,15 t CO<sub>2-eq</sub> (lo cual es equivalente a un 34,62 % de ahorro de la energía anual del edificio), por lo que la nueva huella de carbono del edificio sería de 22,94 t CO<sub>2-eq</sub>. Es decir, se lograría una reducción en la huella de carbono del edificio de poco más de 34 %.

El costo estimado debido a cambios en equipos eléctricos, aires acondicionados y luminarias, atendiendo a lo sugerido en la propuesta técnica, y que permitiría una reducción en la huella de carbono del edificio de poco más de 34 %, es de alrededor de catorce millones de colones, inversión que se recuperaría en 21,5 meses (menos de 2 años) de manera global.

Se propone alternativamente la inversión en sistemas de paneles solares. Se plantea un panorama de inversión para la condición de consumo energético máximo del edificio; sin embargo, se deberá respetar el consumo máximo establecido por la normativa nacional vigente, así como también, considerar la distribución y ubicación que puedan tener los paneles sobre el techo del edificio, para optar por un sistema de mayor o menor alcance.

En atención a la norma RESET, los criterios aplicables a la etapa operacional de edificio son alrededor de 33, de los cuales 25 están conformes con la situación actual del edificio. Los 8 criterios restantes son deficiencias y por tanto oportunidades de mejora, que fueron tomados en cuenta en la propuesta técnica que se generó.

De acuerdo con la norma RESET (capítulo 13: Optimización de la energía), el edificio del LanammeUCR alcanza una puntuación de 26 puntos, por lo que la edificación se clasifica como una categoría de mediano impacto (16 a 30 puntos requeridos).

La propuesta técnica que se elaboró como parte de este trabajo, concuerda con la norma RESET. Ambas están enfocadas al aprovechamiento de la luz y la ventilación natural, minimizando así el uso de iluminación y aires artificiales, y que cuando estos se utilicen, se haga de la manera más eficiente posible. De igual manera, tanto en la propuesta como en la norma, se hace énfasis en utilizar equipos que cumplan con normativas de eficiencia energética.

Si bien las herramientas que se han desarrollado para estimar la huella de carbono de un edificio en operación provienen de países como Estados Unidos, Francia, Inglaterra, Suecia, Suiza, Corea, es posible aplicar una u otra al ámbito de estudio siempre y cuando se disponga de la información requerida. En el caso particular del edificio en estudio resultó particularmente útil el enfoque de producto desde un punto de vista energético. Y, los factores de emisión (FE) requeridos para la estimación de la huella de carbono corresponden a factores de emisión promedio de acuerdo al tipo de energía y basado en fuentes de energía ya utilizada, que para el caso de Costa Rica están publicados de manera oficial por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN).

En cuanto a las normas que no han sido contempladas directamente, se encuentra el caso de las normas ISO 14064:2006, las cuales deberán considerarse más profundamente si se realiza el ACV mediante un enfoque de organización; y las normas internacional PAS 2060:2010 y nacional INTE 12-01-06:2013, las cuales deberán considerarse, si el fin del trabajo está enfocado hacia demostrar la carbono neutralidad del edificio en estudio.

Para proyectos con casos de estudio de edificios en estado operativo, es adecuado aplicar la metodología implementada en este trabajo (Figura 1.1. en Capítulo 1), así como el diagrama de metodologías expuesto (Figura 4.4 en Capítulo 4), basado en las referencias normativas nacionales e internacionales más actuales, que aplican para este tipo de proyectos.

## 5.2 Recomendaciones

La Universidad de Costa Rica debe incentivar y fomentar este tipo de proyectos orientados a cuantificar y reducir la huella de carbono, en cada uno de los edificios, sedes y demás espacios que la conforman, de manera que sea ejemplo y líder a nivel nacional, contribuyendo con el objetivo de alcanzar la meta país de llegar a ser C-neutro.

Desarrollar trabajos investigativos que complementen el contenido de este trabajo, evaluando temas como el uso operacional del agua, los desechos orgánicos, emisiones por transporte, u otros que puedan resultar de interés, de manera que se pueda obtener una estimación de huella de carbono total, considerando la totalidad de la fase operativa y de uso del edificio.

En caso de trabajos de esta índole en la Universidad de Costa Rica, se debe acudir a la Vicerrectoría de Administración, con el fin de solicitar los consumos energéticos más actuales del edificio en estudio, y así contar con información más exacta y real, para la estimación de huella de carbono.

Se debe visitar y consultar cuantas veces sea necesario, el edificio en estudio y a los encargados correspondientes, hasta obtener la mayor cantidad de información fidedigna posible, pues de ello depende la certeza de los resultados que se puedan obtener.

A nivel del laboratorio en específico, pero también en todo el ámbito universitario, se deben desarrollar actividades que motiven e induzcan a la población administrativa, docente, estudiantil y visitantes, al ahorro y uso eficiente de la energía.

Considerar prioritariamente la eficiencia energética como uno de los criterios principales para la adquisición de equipos, considerando aquellos con etiquetado, que certifiquen la protección al ambiente y al consumidor con un uso más eficiente de la energía.

Poner en práctica las actividades indicadas en el Capítulo 4, sección 4.1 de la propuesta técnica, con el fin de mejorar la eficiencia energética en motores eléctricos, equipos de refrigeración, hornos y equipos en general, así como en sistemas de aires acondicionados y luminarias.

Realizar estudios a aquellos equipos de laboratorio a los que se les puedan identificar deficiencias o posibles mejoras, que por medio de diseños electromecánicos puedan

representar una mayor eficiencia energética. Para ello, se puede acudir a la Corporación Interamericana de Inversiones (CII), que a través de su iniciativa GREENPYME, realiza auditorías energéticas gratuitas (BID, 2015).

Valorar con mayor detalle, la viabilidad de implementar sistemas de paneles solares en el edificio. Para ello, se deberán considerar los aspectos antes descritos (ver sección 4.1), que pueden resumirse en cinco elementos claves como lo son: Capacidad de generación eléctrica, factibilidad de colocación, ahorro potencial, costos y desempeño durante su vida útil.

En el corto y mediano plazo, dar prioridad a la implementación de una auditoría energética que permita invertir en equipos más eficientes y en un ahorro inmediato, así como, al uso de fuentes renovables como la luz solar, que puedan representar una solución inmediata para reducir el consumo periódico del edificio.

En el largo plazo, considerar la inversión para el cambio de equipos de aires acondicionados y sistemas de luminarias, que permitan complementar el consumo eficiente de energía del edificio.

En edificaciones existentes pero principalmente en proyectos de nuevas edificaciones, considerar prioritariamente la normativa nacional Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico (RESET), contemplando la formulación y el desarrollo de proyectos, desde la etapa de concepción y diseño de los mismos, de manera que sea posible crear edificaciones sostenibles en cada una de las etapas del ciclo de vida de los edificios. Se debe dar prioridad al mayor uso eficiente de los recursos naturales desde la etapa de diseño, y hasta donde sea posible, reducir la inversión en caras tecnologías.

## FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

### ○ Trabajos finales de graduación

Castro. (2012). *Huella de carbono para la construcción de una nueva delegación policial, en León XXI*. San Pedro, San José: Universidad de Costa Rica.

Hevia Riera, R. A. (2014). *Propuesta Metodológica para Cuantificación de Huella de Carbono de la Energía Operacional en Edificios Existentes*. Recuperado el 20 de Julio de 2015, de Repositorio Académico de la Universidad de Chile: [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/116889/cf-hevia\\_rr.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/116889/cf-hevia_rr.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Rivela Carballal, B. (2012). *Propuesta metodológica de aplicación sectorial de análisis de ciclo de vida (ACV) para la evaluación ambiental de la edificación en España*. Obtenido de <http://oa.upm.es/14912/1/BeatrizRivela.pdf>

Zabalza Bribián, I. (2011). *Adaptación de la metodología del análisis de ciclo de vida para la evaluación y la mejora del impacto energético y ambiental de la edificación en España*. Obtenido de Universidad de Zaragoza: <https://zaguan.unizar.es/record/5751/files/TESIS-2011-032.pdf>

### ○ Referencias normativas

AEN/CTN 150 Gestión Medioambiental. (2006). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia (ISO 14040:2006)*. Madrid, España: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

AEN/CTN 150 Gestión Medioambiental. (2006). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices (ISO 14044:2006)*. Madrid, España: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

AEN/CTN 198 Sostenibilidad en la construcción. (2012). *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo (UNE-EN 15978)*. Madrid, España: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

AEN/CTN 198 Sostenibilidad en la construcción. (2014). *Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción (UNE-EN 15804:2012+A1)*. Madrid, España: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

AEN/CTN 216 Eficiencia energética, cambio climático y energías renovables. (2015). *Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para*



*cuantificación y comunicación. (ISO/TS 14067:2013).* Madrid, España: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (2006). *Gases de efecto invernadero - Parte 1: especificación con orientación, a nivel de organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero (INTE-ISO 14064-1:2006).* INTECO.

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (2006). *Gases de efecto invernadero - Parte 2: especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o aumento en las remociones de gases de efecto invernadero (INTE-ISO 14064-2:2006).* INTECO.

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (2006). *Gases de efecto invernadero - Parte 3: especificación con orientación para la validación y verificación de declaraciones sobre gases de efecto invernadero (INTE-ISO 14064-3:2006).* INTECO.

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (2012). *RESET - Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico.* Costa Rica: INTECO.

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (2013). *Norma nacional para demostrar la C-neutralidad. Requisitos (INTE 12-01-06: 2011/Cor.2: 2013).* INTECO.

Miguel, J. L. (2011). *Cálculo de emisiones (PAS 2050) y Neutralidad de carbono (PAS 2060).* Barcelona, España: British Standards Institution (BSI).

- **Informes**

Estado de la Nación. (2013). *Decimonoveno Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible: "Carbono Neutralidad: Avances y Desafíos de cara al año 2021".* San José, Costa Rica.

Estado de la Nación. (2014). *Capítulo 4. Armonía con la Naturaleza.* San José, Costa Rica.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Emisiones de GEI de larga permanencia.*

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2015). *Cambio Climático 2014: Mitigación del Cambio Climático.* Ginebra, Suiza: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

Universidad de San Jorge. (2012). *Reporte público - Cálculo de la Huella de Carbono.* Zaragoza, España.

World Wild Foundation (WWF). (2010). *Planeta Vivo: Informe 2010.*

- **Revistas**

Muñoz, C., Zaror, C., Saelzer, G., & Cuchí, A. (Diciembre de 2012). Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción. Caso Estudio: Vivienda Tipología Social. Región del Biobío, Chile. *Revista de la Construcción*, 11(3).

Naranjo Aguilar, F. (2010). El reto de la eficiencia energética frente al desarrollo socioeconómico. *Éxito Empresaria*(134).

- **Documentos de sitio web**

Casanovas, X. (2009). *La construcción sostenible. Una mirada estratégica*. Recuperado el 20 de Julio de 2015, de Depósito de Trabajos Académicos - UPCommons: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/11004/ponencia-marco-sostenibilidad.pdf?sequence=1>

Hidalgo Segura, A. (Junio de 2013). *Cálculo del Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Actividades y Eventos Corporativos*. Recuperado el 28 de Julio de 2015, de Fondo Nacional de Financiamiento Forestal: <http://www.fonafifo.go.cr/actualidad/noticias/ultimasnoticias/C-Neutral.pdf>

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2015). *Factores de emisión de gases de efecto invernadero*. Obtenido de [http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/factores\\_emision\\_gei\\_0.pdf](http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/factores_emision_gei_0.pdf)

Intelligent Use of Energy at School (IUSES). (Noviembre de 2010). *Uso de la energía en los edificios*. Obtenido de Manuales para estudiantes: [http://www.iuses.eu/materiali/e/MANUALES\\_PARA\\_ESTUDIANTES/Manual\\_edificios.pdf](http://www.iuses.eu/materiali/e/MANUALES_PARA_ESTUDIANTES/Manual_edificios.pdf)

Ruiz Moreno, A. (2013). *Cálculo Huella Carbono en AMC*. Obtenido de Asociación Española para la Calidad: [http://www.aec.es/c/document\\_library/get\\_file?p\\_l\\_id=315713&folderId=997154&name=DLFE-14601.pdf](http://www.aec.es/c/document_library/get_file?p_l_id=315713&folderId=997154&name=DLFE-14601.pdf)

Salazar, G., Torrealba, I., Alfaro, G., & Astorga, Y. (s.f.). *Sistema de Gestión Ambiental en la Universidad de Costa Rica*. San Pedro, San José: Universidad de Costa Rica. Obtenido de [http://fich.unl.edu.ar/CISDAV/upload/Ponencias\\_y\\_Posters/Eje07/Salazar\\_Torrealba\\_Alfaro\\_Astorga/SISTEMA%20DE%20GESTI%C3%93N%20AMBIENTAL%20EN%20LA%20UNIVERSIDAD.pdf](http://fich.unl.edu.ar/CISDAV/upload/Ponencias_y_Posters/Eje07/Salazar_Torrealba_Alfaro_Astorga/SISTEMA%20DE%20GESTI%C3%93N%20AMBIENTAL%20EN%20LA%20UNIVERSIDAD.pdf)

- **Sitios web**

Acevedo, J. (s.f.). *Desarrollo sostenible*. Obtenido de Academia: [http://www.academia.edu/3786961/desarrollo\\_sostenible](http://www.academia.edu/3786961/desarrollo_sostenible)

Araya, V., & Bejarano, S. (s.f.). *La huella ecológica*. Obtenido de Educación inicial y ecología: <http://educacioninicialyecologia.weebly.com/huella-ecoloacutegica.html>

Asociación Costarricense de Energía Solar (ACESOLAR). (2015). *Sobre los precios de los paneles solares en Costa Rica*. Obtenido de Noticias: <http://www.acesolar.org/preciosencostarica/>

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (14 de Julio de 2015). *Cómo reducir tus gastos y volverte más competitivo*. Obtenido de Negocios sostenibles: <http://blogs.iadb.org/sectorprivado/2015/07/14/eficiencia-energetica-y-competitividad-negocios-sostenibles/>

Baños Gil, F. (17 de Julio de 2013). *Aire acondicionado y su nivel de eficiencia energética (EER y COP)*. Obtenido de Arquitectnide: <http://arquitectnide.blogspot.com/2013/07/aire-acondicionado-y-su-nivel-de.html>

Beccelieri, B. (07 de Setiembre de 2015). *Mejoran iluminación y reducen emisiones contaminantes*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México: <http://www.luz2015.unam.mx/leer/184/mejoran-iluminacion-y-reducen-emisiones-contaminantes>

Climadesign. (s.f.). *¿Qué es la eficiencia energética?* Obtenido de Energía: <http://www.climadesign.com.ar/novedad/que-es-la-eficiencia-energetica>

Collahuasi. (s.f.). *Guía práctica para conocer y usar la energía solar*. Obtenido de Portal de Energías Limpias: <http://www.chilerenovables.cl/guia-pratica-para-conocer-y-usar-la-energia-solar/>

CONAFE. (2013). *Uso Eficiente de la Energía*. Recuperado el 8 de Agosto de 2015, de <http://www.conafe.cl/consejos-para-llevar-la-eficiencia-energetica-al-hogar/>

Ecología Hoy. (11 de 06 de 2011). *Conferencia de Estocolmo*. Obtenido de Cambio Climático: <http://www.ecologiahoy.com/conferencia-de-estocolmo>

Ekotonia Consultores. (26 de Mayo de 2015). *La Huella de Carbono, ¿qué es y cómo se mide?* Obtenido de <http://ekotoniaconsultores.es/medio-ambiente/la-huella-de-carbono-que-es-y-como-se-mide/>

Global Footprint Network. (2009). *¿Cabemos en el planeta?* Obtenido de Huella Mundial: [http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/GFN/page/world\\_footprint/](http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/GFN/page/world_footprint/)

- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (21 de Setiembre de 2011). *Costa Rica ya tiene norma C-neutral*. Recuperado el 28 de Julio de 2015, de Comunicación Corporativa: <http://www.comunicacioncorporativa.net/newswire/?p=2238>
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (Diciembre de 2012). *Presentación de la Norma RESET, Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico INTE 06-12-01:2012*. Recuperado el 30 de Julio de 2015, de Boletín INTECO al día: <http://inteco.or.cr/esp/boletines/Boletin178/files/assets/basic-html/page4.html>
- IntiTech Solar. (s.f.). *Direcciones para la calculadora de rebajas de facturas*. Obtenido de Rebajas de facturas: <http://www.intitechsolar.com/es/bill-reduction-calculator-full.html>
- m14 Arquitectura. (s.f.). *Ecoeficiencia*. Obtenido de Sostenibilidad: <http://m14arquitectura.com/estudio/sostenibilidad>
- Mora Vargas, P. (04 de Marzo de 2015). *UCR avanza firme hacia meta de ser carbono neutral*. Obtenido de Universidad de Costa Rica: <http://www.ucr.ac.cr/noticias/2015/03/04/ucr-avanza-firme-hacia-meta-de-ser-carbono-neutral/imprimir.html>
- Moreno Galindo, E. (12 de Agosto de 2013). *Metodología de investigación, pautas para hacer Tesis*. Obtenido de Metodología de Investigación Científica: <http://tesis-investigacion-cientifica.blogspot.com/2013/08/disenos-no-experimentales.html>
- Naciones Unidas. (s.f.). *¿Qué es <<Río+20>>?* Obtenido de <http://www.un.org/es/sustainablefuture/about.shtml>
- Navarro, J. (22 de Junio de 2008). *De qué manera las actividades humanas producen gases de invernadero*. Obtenido de Cambio Climático: <http://www.cambioclimatico.org/content/de-que-manera-las-actividades-humanas-producen-gases-de-invernadero>
- Renovables Verdes. (13 de Setiembre de 2010). *Iluminación ecológica*. Obtenido de Medio Ambiente: <http://www.renovablesverdes.com/iluminacion-ecologica/>
- TechnoSys Soluciones S.A. . (24 de Abril de 2015). *Ventajas de un aire acondicionado INVERTER*. Obtenido de Aire Acondicionado & Climatización: <http://www.tecnocomprascr.com/ventajas-de-un-aire-acondicionado-inverter/>
- Tobasura Acuña, I. (Junio de 2008). *Huella ecológica y biocapacidad: Indicadores biofísicos para la gestión ambiental*. Obtenido de Luna Azul: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-24742008000100008](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742008000100008)
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (s.f.). *Acuerdo de París*. Obtenido de [http://unfccc.int/portal\\_espanol/items/3093.php](http://unfccc.int/portal_espanol/items/3093.php)

- **Material de clase**

Centeno Mora, E. (2015). Historia de la protección del medio ambiente. En *Materia de curso de Análisis de Impacto Ambiental*. San José: Universidad de Costa Rica.

- **Comunicaciones personales**

E. Mata (Profesor del departamento de construcción de la Universidad de Costa Rica, 2015)

J. Mora (Departamento de mantenimiento electromecánico del LanammeUCR, 2015)

# APÉNDICES

## APÉNDICE A. Inventario de la información recolectada

Se muestran a continuación el registro de cada uno de los inventarios de información recolectada en campo, referente a luminarias, aires acondicionados y equipos de laboratorio. A partir de dicha información, se calculó el consumo energético de cada categoría y con ello el posterior cálculo de huella de carbono.

**Cuadro Apéndice A. 1.** Inventario de luminarias de la planta baja del edificio

Descripción y ubicación de Luminarias	Cantidad [Unid]	Potencia [W]	Uso entre semana $\left[\frac{h}{día}\right]$	Uso en fines de semana $\left[\frac{h}{fin\ sem}\right]$
Baño de hombres (101) – Fluorescentes	3	32	10	8
Baño de mujeres (102) - Fluorescentes	2	32	10	8
Aula 103 – Fluorescentes	12	32	5	5
Laboratorio de Escala Reducida (104) – Fluorescentes	16	32	10	0
Laboratorio de Escala Natural (105) – Fluorescentes	21	32	10	0
Laboratorio de Escala Natural (105) - Lámparas de mercurio	6	150	10	0
Bodega de Lab. Escala Natural - Fluorescentes	4	32	1	0
Bodega principal - Fluorescentes	8	60	8	0
Pasillo de baños a bodega - Fluorescentes	14	32	10	8
Laboratorio de Asfaltos y Pavimentos (107) - Fluorescentes	24	32	10	0
Laboratorio de Geotecnia (109) - Fluorescentes	36	32	10	5
Máquinas triaxiales (115) - Fluorescentes	6	32	1	0
Oficina 113 - Fluorescentes	4	32	8	0
Cuarto húmedo (114) - Fluorescentes	2	60	1	0
Cuarto MTS - Fluorescentes	12	32	8	0

<b>Descripción y ubicación de Luminarias</b>	<b>Cantidad [Unid]</b>	<b>Potencia [W]</b>	<b>Uso entre semana <math>\left[\frac{h}{día}\right]</math></b>	<b>Uso en fines de semana <math>\left[\frac{h}{fin\ sem.}\right]</math></b>
Servicios técnicos (110) - Fluorescentes	12	32	8	0
Laboratorio de Concreto y Agregados (108) – Fluorescentes	20	32	10	0
Bodega de Lab. Concreto y Agregados (112) – Fluorescentes	8	32	1	0
Adquisición de datos - Fluorescentes	8	32	8	0
Pasillo de bodega a muestras no procesadas - Fluorescentes	12	32	10	8
Muestras no procesadas – Fluorescentes	10	59	8	0
Piso fuerte - Lámparas de mercurio	3	150	8	0
Bodega material inflamable – Fluorescentes	8	59	1	0
Área de muestras - Lámparas de mercurio	4	150	8	0
Estacionamiento de camionetas - Lámparas de mercurio	3	150	8	0
Bodegas - Fluorescentes	8	32	1	0
Bodegas - Fluorescentes	18	59	1	0
Cuarto de aseo y baños – Fluorescentes	5	32	1	0
Oficina de Asfalto - Fluorescentes	6	32	8	0
Laboratorio de Ligantes Asfálticos – Fluorescentes	8	59	10	8
Laboratorio de Mezclas Bituminosas – Fluorescentes	16	59	10	8
Bodega de Equipo Radioactivo – Fluorescentes	4	75	11	0
Laboratorio de Ensayos Dinámicos – Fluorescentes	8	75	10	8
Pasillo al lado de bodegas y laboratorios - Fluorescentes	16	32	10	8
Zona trasera a laboratorios - Bombillos incandescentes	8	42	1	0
Salida de edificio por acceso de escalera - Fluorescentes	14	32	8	0

<b>Descripción y ubicación de Luminarias</b>	<b>Cantidad [Unid]</b>	<b>Potencia [W]</b>	<b>Uso entre semana <math>\left[\frac{h}{día}\right]</math></b>	<b>Uso en fines de semana <math>\left[\frac{h}{fin\ sem}\right]</math></b>
Bodega de moldes de concreto - Lámparas de mercurio	4	59	1	0
Bodega de Laboratorio de Campo – Fluorescentes	4	59	1	0
Laboratorio de CBR - Fluorescentes	8	75	8	0
Bodegas 1 y 2 - Fluorescentes	8	75	5	0
Máquinas - Fluorescentes	6	75	5	0
Vestidor - Fluorescentes	2	59	5	0
Comedor - Fluorescentes	8	32	5	0
Cámara húmeda (117) - Fluorescentes	4	32	1	0
Recepción de muestras - Fluorescentes	3	32	8	0
Pasillo al lado de CBR hasta cámara húmeda - Fluorescentes	10	32	10	0
Pasillo al lado de CBR hasta cámara húmeda - Fluorescentes	10	32	10	0

**Fuente:** Morera, 2015

**Cuadro Apéndice A. 2.** Inventario de luminarias de la planta alta del edificio

<b>Descripción y ubicación de Luminarias</b>	<b>Cantidad [Unid]</b>	<b>Potencia [W]</b>	<b>Uso entre semana <math>\left[\frac{h}{día}\right]</math></b>	<b>Uso en fines de semana <math>\left[\frac{h}{fin\ sem}\right]</math></b>
Entrada principal - Lámparas incandescentes	20	20	10	8
Pasillo de entrada y salón de espera – Fluorescentes	12	32	14	10
Recepción - Fluorescentes	2	32	10	0
Copias y bodega (201) - Fluorescentes	4	32	8	0
Baño de mujeres (202) - Fluorescentes	3	32	10	0
Baño de hombres (203) – Fluorescentes	3	32	10	0
Administración / secretaría (204) – Fluorescentes	16	32	10	0



<b>Descripción y ubicación de Luminarias</b>	<b>Cantidad [Unid]</b>	<b>Potencia [W]</b>	<b>Uso entre semana <math>\left[ \frac{h}{\text{día}} \right]</math></b>	<b>Uso en fines de semana <math>\left[ \frac{h}{\text{fin sem}} \right]</math></b>
Dirección (205) - Fluorescentes	12	32	8	0
Oficina 206 - Fluorescentes	4	32	8	0
Oficina 207 - Fluorescentes	4	32	8	0
Oficina 208 - Fluorescentes	7	32	8	0
Oficina de Postgrado - Fluorescentes	2	32	8	0
Proveeduría - Fluorescentes	2	32	8	0
Oficina 209 - Fluorescentes	4	32	8	0
Unidad de Gestión de la Calidad (210) – Fluorescentes	4	32	8	0
Comedor (211) - Fluorescentes	8	32	5	5
Sala de reuniones (212) – Fluorescentes	16	32	5	5
Aula 215 - Fluorescentes	16	32	5	5
Oficina 216 - Fluorescentes	6	32	10	0
Oficina 217 - Fluorescentes	6	32	10	0
Informática (218) - Fluorescentes	8	32	10	0
PITRA (219 y 220) - Fluorescentes	18	32	10	0
Evaluación de la Red Vial Nacional (222) - Fluorescentes	12	32	10	0
Baño de hombres (224) – Fluorescentes	3	32	2	0
Baño de mujeres (225) - Fluorescentes	3	32	2	0
Programa de Ingeniería Sísmica (221, 228 y 229) - Fluorescentes	16	32	10	0
Pasillo principal - Fluorescentes	32	32	14	10
Mezaninne (230) - Fluorescentes	55	32	10	0
Mezaninne (230) - Fluorescentes	8	59	10	0

**Fuente:** Morera, 2015

**Cuadro Apéndice A. 3.** Inventario de equipos de aires acondicionados

<b>Descripción y ubicación de unidades de aires acondicionados</b>	<b>Voltaje [V]</b>	<b>Amperaje [A]</b>	<b>Potencia [kW]</b>	<b>Uso entre semana <math>\left[\frac{h}{\text{día}}\right]</math></b>	<b>Uso en fines de semana <math>\left[\frac{h}{\text{fin sem}}\right]</math></b>
Aula 103 - Pisocielo (Carrier)	199	11,25	2,24	5	5
Laboratorio de Asfalto #1 - Pisocielo (Tempstar)	198	16,85	3,24	12	0
Laboratorio de Asfalto #2 - Pisocielo (Tempstar)	198	16,55	3,28	12	0
Cuarto MTS - Pisocielo (Carrier)	205	9,35	1,92	12	0
Cuarto UPS - Mini Split (Carrier)	208	7,15	1,49	24	48
Oficina 205 (Director) - Pisocielo (Carrier)	207	6,35	1,31	8	0
Oficina 208 - Pisocielo (Carrier)	220	6,35	1,40	8	0
Sala de reuniones 212 - Pisocielo (Carrier)	220	11,20	2,46	5	5
Aula 215 - Pisocielo (Carrier)	201	12,15	2,44	5	5
Oficina 218 (Cómputo) - Cassette (Daikin)	220	20,00	4,40	10	0
Oficina 219/220 (PITRA) - Mini Split (LG)	224	3,60	0,81	10	0
Oficina 222 (Evaluación RVN) - Pisocielo (Carrier)	203	10,85	2,20	10	0
Oficina 230 (Mezaninne) - Mini Split (Carrier)	209	6,65	1,39	10	0
Oficina 231 (Mezaninne) - Pisocielo (Carrier)	208	20,30	4,22	10	0
Oficina 233 (Mezaninne) - Mini Split (Carrier)	220	4,70	1,03	10	0
Oficina 240 (Mezaninne) - Mini Split (Carrier)	207	3,65	0,76	10	0

**Fuente:** Morera, 2015

**Cuadro Apéndice A. 4.** Inventario de Laboratorio de Modelos Estructurales a Escala Natural

Marca	Descripción de equipo	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (kW)	Potencia (hP)
MTS	Bomba Hidráulica modelo 505.07	230	44,2	10,2	13,6
MORGON	Taladro Fresador modelo MD-31	110/120	30/15	1,5	2,0
METABO	Sierra Tronzadora de Metal modelo CS 23-355	120	15	1,8	2,4
FREJOTH	Rectificadora Plana modelo ASG-1224HSR	220	-	3,8	5,0
JIN SHIN	Fresadora Convencional modelo FM-2V	220/440	8,5/4,25	2,2	3,0
TRENS	Torno modelo SN 50 C	220	19,5	4,3	5,7
LINCOLN	Bomba Hidráulica modelo 326 TC	230/460	125/62,5	37,5	50,0
HUMBOLDT	Máquina de Ensayos de Compresión modelo CM-5000-LXI	115	13,2	1,5	2,0
FORNEY	Máquina de Ensayos Universal modelo F-50C-DFM/I	115	15	1,7	2,3
SATEC	Máquina de Ensayos Universal modelo 200 HVL	120	40	4,8	6,4
INSTRON	Fuente de Energía modelo ISRS R 200 HVL	208/230	15	3,5	4,6
MTS	Suministro de Energía Hidráulica modelo 510.21C	208	144,8	30,1	40,2
MTS	Unidad de Energía Hidráulica modelo 505.11-G2	380	43	16,3	21,8
INSTRON	CPU modelo T4T-M1.8G	110/240	4	0,96	1,3

Fuente: Morera, 2015

**Cuadro Apéndice A. 5.** Inventario de Laboratorio de Concreto y Agregados

Marca	Descripción de equipo	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (kW)	Potencia (hP)
Gilson Company	Tamizadora modelo SS-18	115	5.4	0,62	0,83
OHAUS	Balanza de precisión modelo GT 8000	110-120 220-240	-	0,020	0,027
MASTERFLOW	Soplador de aire caliente modelo AH-751	120	18	2,2	2,9
BALDOR	Motor industrial modelo GMP3330	208/460	1,4/0,7	0,25	0,33
CONTROLS	Motor reductor velocidad modelo 63-L0040/EY	220	-	0,20	0,27
Franklin Electric	Bomba centrífuga modelo 1603007402	115/230	-	0,19	0,25

Marca	Descripción de equipo	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (kW)	Potencia (hP)
DELL	Computadora modelo T7400	110/220	6,0/3,0	0,66	0,88
HOBART	Batidora modelo N-50	115	2,85	0,13	0,17
Gilson Company	Motor de mezclador mecánico de arena modelo SE-2B	-	-	0,094	0,13
Welch GEM	Bomba y sistema de vacío modelo 01-129-1	115	-	0,19	0,25

**Fuente:** Morera, 2015

**Cuadro Apéndice A. 6.** Inventario de Laboratorio de Mezclas Bituminosas

Marca	Descripción de equipo	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (kW)	Potencia (hP)
WEG	Motor trifásico de marco de aluminio modelo AL80	220/380	3,11/1,80	0,75	1,0
HUMBOLDT	Master Loader digital modelo HM-3000	110/220	8,5	1,9	2,5
Japonesa	Balanza digital serie 13011252	12	0,3	0,0036	0,0048
DAYTON	Motor eléctrico modelo 3M560B	115	-	0,011	0,014
SANYO	Congelador biomédico modelo MDF-U333	115	1,3	0,14	0,19
WEG	Motor trifásico de marco de aluminio modelo AL90S/L	220/380	8,15/4,72	2,2	3,0
DAYTON	Capacitor arranque de motor modelo 5K446C	115/230	-	0,25	0,33
PINE	Compactador giratorio modelo AFG2A	115	12	1,4	1,8
WIRTGEN	Planta de asfalto modelo WLB 10 S	-	-	5,5	7,3
ATB	Motor modelo AF 90S/2H-12	380-420 220-240	3,4-3,3 5,9-5,7	1,5	2,0

**Fuente:** Morera, 2015

**Cuadro Apéndice A. 7.** Inventario de Laboratorio de Geotecnia

<b>Marca</b>	<b>Descripción de equipo</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Amperaje (A)</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Potencia (hP)</b>
Wykeham Farrance	Máquina de ensayo de cizalla automática modelo 27-WF2180	115/230	-	0,10	0,13
Graham Company	Motor serie Magnapak modelo 301CM2	120	-	0,19	0,25
RODALE	Tanque de limpieza por ultrasonidos modelo 1260-2	-	0,21	0,018	0,023
BODINE ELECTRIC	Motor reductor de velocidad modelo NSI-12 RG	115	0,8	0,015	0,020
CONTROLS	Compresor de aire modelo 86-D2015/Z	110	-	37,5	50,0
RAINHART Co.	Tamizadora de laboratorio	115	6,3	0,72	0,97
ELE International	Máquina para prueba de corte directo modelo 26-2114/01	240	2	0,48	0,64
SOILTEST	Equipo de pruebas de suelo modelo D-120/BY	110	-	0,19	0,25
Gilson Company	Máquina Micro-Deval modelo MD-2000	115	12,5	1,4	1,9
Durant	Contador modelo 4-X-7-1-R-AC	5	-	0,0015	0,002
DELL	Computadora modelo T5500	115/230	8,0/5,0	0,92	1,2

**Fuente:** Morera, 2015

## APÉNDICE B. Memoria de cálculo de la estimación del consumo energético

Este apartado contiene una memoria de cálculo en la que se detallan mediante ejemplos, las distintas fórmulas y operaciones que se han realizado para obtener los datos que se han descrito a lo largo del trabajo de investigación.

En primer lugar, es importante recordar, que se recolectaron los datos de inventario de luminarias y aires acondicionados, en cuanto a cantidad, potencia y horario de uso diario estimado de cada uno de estos.

En el caso de los aires acondicionados, los datos que se midieron y recolectaron directamente fueron los de voltaje (V) y amperaje (A), por lo que la potencia (P) se obtuvo mediante el producto de estos,

$$P = V \cdot A$$

Por ejemplo, para el caso del aire acondicionado del Aula 103, a partir de un voltaje de 199 V y un amperaje de 11,25 A medidos directamente, se obtuvo que,

$$P = (199 \text{ V} \cdot 11,25 \text{ A}) \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}}$$

$$P = 2,24 \text{ kW}$$

Una vez obtenida la potencia tanto en luminarias como en aires acondicionados, se estimó la energía consumida diaria en cada una de las áreas de las dos plantas del edificio, y mediante la suma de cada una de ellas, la energía total diaria estimada para ambos sistemas por separado.

$$\text{Consumo de energía diario} = \text{Horas de uso} \cdot \sum (\text{Cantidad} \times \text{Potencia})$$

Por ejemplo, para el caso de luminarias del Laboratorio de Escala Natural, en donde el tiempo estimado de uso diario es de 10 horas, y hay 21 fluorescentes de 32 W y 6 lámparas de 150 W, se obtuvo que,

$$\text{Consumo de energía diario} = 10 \text{ h} \cdot \sum (21 \cdot 32 \text{ W} + 6 \cdot 150 \text{ W}) \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}}$$

$$\text{Consumo de energía diario} = 15,72 \text{ kWh}$$

En el caso del aire acondicionado del Aula 103, la potencia es de 2,24 kW y las horas estimadas de uso diario son de 5 h, por lo que,

$$\text{Consumo de energía diario} = 5 \text{ h} \cdot 2,24 \text{ kW}$$

$$\text{Consumo de energía diario} = 11,19 \text{ kWh}$$

Una vez que se tiene el consumo diario, este se multiplica por el estimado de días al mes que se utiliza la iluminación o los aires en cada espacio o laboratorio, y con ello se obtiene el consumo mensual de cada una de las áreas del edificio, que al sumarse, dan como resultado el consumo total mensual del edificio debido a iluminación y a aires acondicionados.

En cuanto al consumo de los equipos de laboratorio, como se ha mencionado, estos se obtuvieron de la diferencia del consumo total mensual del edificio menos los consumos mensuales estimados por iluminación y por aires acondicionados.

$$\text{Consumo de equipos de lab} = \text{Consumo total} - \text{Consumo iluminación} - \text{Consumo aires}$$

Por ejemplo, para el mes de septiembre del año 2015, el consumo total registrado fue de 26 040 kWh, mientras que el consumo estimado por iluminación fue de 5406 kWh y debido a aires acondicionados de 7930 kWh, por lo que debido a equipos de laboratorio se estimó que,

$$\text{Consumo de equipos de lab} = 26\ 040 \text{ kWh} - 5406 \text{ kWh} - 7930 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo de equipos de lab} = 12\ 704 \text{ kWh}$$

A partir de estos, se calcularon los porcentajes correspondientes para cada categoría, con los que se presentaron las gráficas como parte de los resultados obtenidos. Para el mismo caso anterior, por ejemplo,

$$\% \text{ Consumo de equipos de lab} = \frac{\text{Consumo de equipos de lab}}{\text{Consumo total}} \cdot 100$$

$$\% \text{ Consumo de equipos de lab} = \frac{12\,704 \text{ kWh}}{26\,040 \text{ kWh}} \cdot 100$$

$$\% \text{ Consumo de equipos de lab} = 48,8 \%$$

Posteriormente, para el cálculo de huella de carbono, se multiplicó el consumo total anual obtenido por el factor de emisión descrito con anterioridad.

$$HC = FE \cdot \text{Consumo total anual}$$

Siendo el consumo total anual estimado de 299 880 kWh y el factor de emisión registrado de 0,1170 kg CO<sub>2-eq</sub>/kWh se obtuvo que,

$$HC = (0,1170 \text{ kg} \frac{\text{CO}_{2\text{-eq}}}{\text{kWh}} \cdot 299\,880 \text{ kWh}) \cdot \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}}$$

$$HC = 35,09 \text{ t CO}_{2\text{-eq}}$$

A partir de la información recabada, se desarrolla la propuesta técnica y se proponen nuevos sistemas, tanto de iluminación, como de aires acondicionados y de equipos de laboratorio, que permiten reducir el porcentaje de consumo de cada uno de ellos.

En el caso de los equipos de laboratorio, la reducción considerada es global del 40 %, por lo que esta se aplica directamente al consumo actual para obtener el nuevo. En cuanto a los aires acondicionados, la reducción es considerada del 40 % pero sólo en aquellos que se han descrito en la propuesta técnica, por lo que se aplica únicamente a los debidos y se mantienen igual los demás. Mientras que para la iluminación, se cambian los consumos energéticos actuales superiores a los 32 W por los que se proponen, y así se obtienen los nuevos consumos energéticos en cada una de las categorías de uso.

De la misma forma que se detalló con anterioridad, se estiman posteriormente la nueva huella de carbono y la reducción correspondiente.



$$\text{Reducción de HC} = \text{HC actual} - \text{HC proyectada}$$

$$\% \text{ Reducción} = \frac{\text{Reducción de HC}}{\text{HC actual}} \cdot 100$$

A partir de los nuevos consumos energéticos obtenidos, se obtiene una nueva HC proyectada de 22,94 ton CO<sub>2</sub>-eq por lo que,

$$\text{Reducción de HC} = 35,09 \text{ t CO}_2\text{-eq} - 22,94 \text{ t CO}_2\text{-eq}$$

$$\text{Reducción de HC} = 12,15 \text{ t CO}_2\text{-eq}$$

$$\% \text{ Reducción} = \frac{12,15 \text{ t CO}_2\text{-eq}}{35,09 \text{ t CO}_2\text{-eq}} \cdot 100$$

$$\% \text{ Reducción} = 34,62 \%$$

Finalmente, se realiza una estimación del período de recuperación de la inversión que se realizaría para la propuesta técnica.

En primer lugar, se realiza una estimación del costo unitario de colones por kilowatt hora, que se le cobra de electricidad al edificio del LanammeUCR de la universidad.

$$\text{Costo unitario} = \frac{\text{Total a pagar}}{\text{Consumo kWh}}$$

Para estimar dicho costo unitario, se tomó como referencia el cobro del último mes del que se tiene registro del edificio (setiembre, 2015). Dicho cobro fue de ₡ 1 969 030, por lo tanto,

$$\text{Costo unitario} = \frac{₡ 1 969 030}{26 040 \text{ kWh}}$$

$$\text{Costo unitario} = ₡75,62/\text{kWh}$$

Posteriormente, se estima el costo monetario que se estaría ahorrando por año, correspondiente a la reducción de consumo energético anual obtenida.

$$\text{Costo ahorrado por año} = \text{Reducción de consumo anual} \cdot \text{Costo unitario}$$

A partir de la reducción de consumo anual de 103 810,46 kWh se obtuvo que,

$$\text{Costo ahorrado por año} = 103\,810,46 \text{ kWh} \cdot \text{¢}75,62/\text{kWh}$$

$$\text{Costo ahorrado por año} = \text{¢}7\,849\,689,33/\text{año}$$

Por último, se estima el tiempo de recuperación de acuerdo a la inversión realizada.

$$\text{Tiempo de recuperación} = \text{Presupuesto total} / \text{Costo ahorrado por año}$$

Para un presupuesto total de ¢ 14 070 040, se obtiene que,

$$\text{Tiempo de recuperación} = \text{¢}14\,070\,040 / \text{¢}7\,849\,689/\text{año}$$

$$\text{Tiempo de recuperación} = 1,79 \text{ años} \approx 21,5 \text{ meses}$$

## APÉNDICE C. Criterios de evaluación de la norma RESET

### INTE 06-12-01:2012: RESET- *Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico*

En este apartado se muestran los criterios de evaluación tanto para la hoja de contexto como para los siete capítulos de la norma, así como también, los resultados acordes a cada criterio según la propuesta técnica. Se debe notar que aquellos criterios que no aparezcan son debido a que no aplican para edificaciones de mediano impacto.

**Cuadro Apéndice C. 1.** Hoja de contexto del proyecto de edificio del LanammeUCR según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012)

Criterios de Evaluación	Calificación
1. Nivel de desarrollo económico del entorno	4
2. Tipo de área urbana	3
3. Relación del terreno con recursos de interés naturales	5
4. Densidad de habitantes en la zona	1
5. Cobertura de la edificación en el lote	2
6. Tamaño de la edificación	3
7. Altura de la edificación	1
8. Vida útil de la edificación	4
9. Tipos de uso	3
PUNTAJE TOTAL	<b>26</b>

**Fuente:** Morera, 2015

**Cuadro Apéndice C. 2.** Aspectos socioeconómicos del proyecto evaluado según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012)

Criterios de Evaluación	Resultados	Justificación
1. Se establecen bases de participación y adjudicación equivalentes para diferentes oferentes	No aplica	Planeación
2. Se dispone de documentos necesarios para comprobación de flujos económicos	No aplica	Construcción
5. Se incorporan dentro del cuerpo de trabajo, personas preferiblemente locales	No aplica	Construcción
6. Se incluyen capacitaciones dentro del proceso de diseño y construcción del proyecto	No aplica	Construcción
7. Se siguen lineamientos de trato justo, respetando leyes de trabajo y garantías sociales	No aplica	Construcción
8. Se cuenta con programas de asistencia e información para personas con "discapacidades"	No aplica	Planeación
9. Se cuenta con un plan de emergencias aprobado por la entidad competente	Conforme	Operación
10. Se cuenta con equipos de seguridad requeridos y medidas de actuación para trabajos seguros	Conforme	Operación
11. Se cuenta con un estudio previo sociológico del sector social a tratar	No aplica	Planeación

**Fuente:** Morera, 2015

**Cuadro Apéndice C. 3.** Entorno y transporte del proyecto evaluado según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012)

<b>Criterios de Evaluación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Justificación</b>
1. Se cuenta con documento que verifica que la edificación respeta zonas de interés	No aplica	Construcción
2. Se construye en zonas previamente urbanizadas	No aplica	Construcción
3. Se respetan edificaciones y estructuras de interés patrimonial	No aplica	Construcción
4. Se evita construir en suelos y rellenos inestables	No aplica	Construcción
5. Previsiones al construir cerca de fallas geológicas, volcánicas, áreas de deslizamiento y orillas de cuerpos de agua	No aplica	Construcción
6. Se toman previsiones al construir en zonas con riesgo de inundación	No aplica	Construcción
8. Se armoniza la arquitectura con el entorno y se prefieren vistas de interés	No aplica	Diseño
9. Se respeta la escala del entorno urbano, rural o natural	No aplica	Diseño
10. Se genera espacio público para usufructo de la comunidad	No aplica	Planeación
11. Se diseña para la seguridad y disuasión de vandalismo, permitiendo visibilidad y control entre calle y edificio	No aplica	Diseño
12. Se controlan la reflectividad y las emisiones de luz artificial excesiva	Conforme	Operación
13. Se evita la contaminación visual en el entorno	Conforme	Operación
14. Las soluciones de sostenibilidad destacan por su propuesta arquitectónica	No aplica	Diseño
15. Se incorporan elementos de diseño que educan a la población en temática de sostenibilidad	No aplica	Diseño
16. El edificio es replicable porque logra un bajo costo mediante el uso de materiales de baja transformación in situ	No aplica	Planeación
17. Se superan mínimos establecidos en materia de cobertura por planes reguladores o reglamento de construcción	No aplica	Planeación
18. Se aprovecha la densidad máxima establecida en la zona por los planes reguladores	No aplica	Planeación
19. Se aplican prácticas que eviten o minimicen la contaminación acústica y del aire durante el proceso constructivo	No aplica	Construcción
20. Se cuenta con acceso a medios de transporte colectivos para usuarios	Conforme	Operación
22. Se cuenta con facilidad de aseo para usuarios de transportes que lo requieran	Conforme	Operación
23. Se favorece el uso de automóviles con tecnologías de baja emisión y eficiencia energética	No aplica	Transporte

**Fuente:** Morera, 2015

**Cuadro Apéndice C. 4.** Calidad y bienestar del proyecto evaluado según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012)

<b>Criterios de Evaluación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Justificación</b>
1. Se desarrolla un diseño espacial que permite un vínculo entre las personas y el medio ambiente	No aplica	Diseño
2. Se desarrolla un diseño con espacios intermedios entre el interior y exterior que amortiguan las inclemencias climáticas	No aplica	Diseño
3. Se desarrolla un diseño que considera la tipología arquitectónica tradicional del lugar	No aplica	Diseño
4. Se desarrolla un diseño que incorpora espacios que fomentan la gestión integral de residuos	No aplica	Diseño
5. Se desarrolla un diseño que utiliza estrategias pasivas	No aplica	Diseño
6. Se emplaza el edificio de manera que se optimice los recursos de soleamiento y vientos para su climatización pasiva	No aplica	Diseño
7. Se utiliza la sombra como acondicionador climático	No aplica	Diseño
8. Se utilizan elementos de fachada, cubiertas de techo y aleros que mitigan el efecto del sol, calor, viento, ruido y humedad	Conforme	Operación
9. En caso de vidrios expuestos a radiación solar se utilizan materiales que minimicen su impacto	No conforme	Operación
10. Se utiliza vegetación para mitigar efectos de temperatura, humedad y contaminación	No conforme	Operación
12. Se utilizan techos y pavimentos de baja absorción térmica	Conforme	Operación
13. Se eleva la edificación con un dimensionamiento acorde con el entorno	Conforme	Operación
15. Se utilizan muros para enfriar y/o calentar el edificio por absorción y liberación de calor	No conforme	Operación
16. Se utilizan ventiladores de bajo consumo de energía y mantenimiento	Conforme	Operación
17. Se utiliza equipo eficiente energéticamente y que minimiza la emisión de agentes contaminantes	No conforme	Operación
18. El diseño considera el ingreso de luz natural excluyendo la penetración directa de la luz solar	Conforme	Operación
19. Se propicia el confort mediante la ventilación natural	No conforme	Operación
20. El diseño permite conectar visualmente a los usuarios con el ambiente a través de vanos, ventanas y aberturas	Conforme	Operación
23. Se provee a los ocupantes de un alto grado de control de la temperatura y ventilación de los espacios	Conforme	Operación
24. Se utilizan pinturas, recubrimientos, alfombras, adhesivos, selladores y aglomerados bajos en COV	No aplica	Construcción
26. Se cuenta con políticas y programas para no fumado	Conforme	Conforme

**Fuente:** Morera, 2015

**Cuadro Apéndice C. 5.** Suelos y paisajismo del proyecto evaluado según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012)

<b>Criterios de Evaluación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Justificación</b>
1. El diseño propone un sistema de cimentación que minimiza la necesidad de sustituir el suelo	No aplica	Diseño
2. Se reducen o evitan movimientos de tierra y nivelación e intervención del terreno natural	No aplica	Construcción
3. Se conserva la escena visual del paisaje natural existente	Conforme	Operación
5. Se controla la erosión y sedimentación de los suelos	No aplica	Construcción
6. Procedimientos constructivos que aseguran la mitigación, control y eliminación de contaminantes hacia el suelo	No aplica	Construcción
7. Se conserva la tierra orgánica existente	No aplica	Construcción
8. Se aplican conceptos en el diseño paisajístico	No aplica	Diseño
9. Se considera la continuidad vegetal de especies existentes	No aplica	Construcción
10. Se densifica al máximo la cobertura vegetal, evitando monocultivos	No aplica	Diseño
11. Se diseñan cerramientos perimetrales e intermedios que incorporan cobertura vegetal	No aplica	Diseño
12. Se utilizan especies nativas o especies exóticas adaptadas al ambiente biótico	No aplica	Ambiente
13. Se generan corredores biológicos donde el proyecto lo permita	No aplica	Ambiente
14. Se limita y controla la incorporación de especies invasoras	No aplica	Ambiente
16. Se implementan sistemas para fabricación de abono y pesticidas en el terreno	No aplica	Ambiente
17. Se cuenta con una bitácora que indica los pesticidas que se deben evitar	No aplica	Ambiente
18. Se establecen y utilizan especies adaptadas al régimen pluvial del lugar	No aplica	Ambiente
19. Se utilizan técnicas de riego eficientes o aguas tratadas	No aplica	Ambiente

**Fuente:** Morera, 2015

**Cuadro Apéndice C. 6.** Materiales del proyecto evaluado según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012)

<b>Criterios de Evaluación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Justificación</b>
1. Se aprovechan materiales y componentes de una edificación existente en el sitio del proyecto	No aplica	Construcción
4. Se separan para su reciclaje o recuperación porcentaje de los escombros y restos de materiales de construcción	No aplica	Construcción
5. Se coordina con programas locales de reciclaje	No aplica	Construcción
6. Se diseña de manera modular, reduciendo el desperdicio	No aplica	Construcción
7. Se utilizan materiales constructivos livianos	No aplica	Construcción
8. Se fomenta el uso de materiales con contenido reciclado	No aplica	Construcción
9. Se considera flexibilidad del uso del edificio en el tiempo	No aplica	Construcción
10. Se incorporan estrategias para proteger partes expuestas del edificio	No aplica	Construcción
11. Se escogen acabados de bajo emplazamiento y fácil limpieza	No aplica	Construcción
12. Los materiales y productos de construcción son extraídos y/o fabricados en el país	No aplica	Construcción
14. La madera utilizada está certificada por la unidad competente	No aplica	Construcción
15. Se incorporan materiales de origen vegetal	No aplica	Construcción

**Fuente:** Morera, 2015

**Cuadro Apéndice C. 7.** Optimización en el uso del agua del proyecto evaluado según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012)

<b>Criterios de Evaluación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Justificación</b>
1. Se reduce el abastecimiento de agua potable reduciendo aguas grises o aprovechando aguas tratadas para riego	No aplica	Mantenimiento
3. Se utilizan piezas sanitarias, griferías y accesorios eficientes en el consumo de agua	Conforme	Operación
5. Se cuenta con equipos de seguimiento y/o control de consumos por sectores	No aplica	Mantenimiento
6. En caso de no contar con red de alcantarillado ni planta de tratamiento, se utiliza un tratamiento local	No aplica	Mantenimiento
8. Se diseñan sistemas que no mezclan aguas pluviales y aguas servidas	No aplica	Diseño
9. Se evita la contaminación de fuentes de agua potable	Conforme	Operación
10. Se realizan análisis del agua y los desechos generados por el sistema de tratamiento	No aplica	Mantenimiento
11. Se da un mantenimiento adecuado a los sistemas de tratamiento de las aguas servidas	Conforme	Mantenimiento
12. No se obstruye el paso natural de agua pluvial en cuerpos superficiales y escorrentías	Conforme	Operación
13. Se permite la infiltración de agua pluvial hacia el subsuelo	Conforme	Mantenimiento

**Fuente:** Morera, 2015

**Cuadro Apéndice C. 8.** Optimización de la energía del proyecto evaluado según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012)

<b>Criterios de Evaluación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Justificación</b>
2. Se calienta el agua con fuentes renovables	No conforme	Operación
3. Se diseñan espacios para el secado de ropa en forma pasiva	Conforme	Operación
4. Se utiliza equipo que cumple con normativa de eficiencia energética	No conforme	Operación
5. Se cuenta con dispositivos para control de "consumo pasivo"	No conforme	Operación
6. Se diseñan los circuitos de iluminación artificial de acuerdo al aporte de iluminación natural	Conforme	Operación
7. Se instala iluminación exterior que minimiza la perturbación del ecosistema nocturno	Conforme	Operación
8. Iluminación artificial se diseña de forma que pueda desempeñar adecuadamente la actividad	Conforme	Operación
9. Se utiliza tecnología de iluminación con baja generación de contenido armónico	Conforme	Operación

**Fuente:** Morera, 2015

**Cuadro Apéndice C. 9.** Resultados obtenidos del proyecto evaluado según los criterios de evaluación de la norma RESET (INTE 06-12-01:2012)

<b>Capítulos de la norma RESET</b>	<b>Total de criterios</b>	<b>Criterios aplicables</b>	<b>Criterios conformes</b>
Aspectos socioeconómicos	9	2	2
Entorno y transporte	21	4	4
Calidad y bienestar espacial	21	13	8
Suelos y paisajismo	17	1	1
Materiales	12	0	0
Optimización en el uso del agua	10	5	5
Optimización de la energía	8	8	5
<b>TOTAL</b>	<b>98</b>	<b>33</b>	<b>25</b>

**Fuente:** Morera, 2015