

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

ESCUELA DE POSGRADO



TÍTULO

**PÉRDIDA DE STOCKS ANTRÓPICOS EN ZONAS DE INUNDACIÓN POR EL
FENÓMENO DEL NIÑO.**

EL CASO DE PIURA, PERÚ

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL CON
MENCIÓN EN GESTIÓN DE RIESGOS NATURALES**

AUTOR

Eduardo Paolo Parodi Gonzales Prada

ASESORES

**Ramzy Francis Kahhat Abedrabbo Ph.D.
Ian Vázquez Rowe Ph.D.**

Abril del 2020

RESUMEN

En los últimos treinta años, un tercio de todas las emergencias en Perú han sido consecuencia de eventos climáticos extremos. Estos eventos, han sido responsables del 80% de las afectaciones a las viviendas, y han causado similar número de fallecidos y el doble de damnificados que los sismos. A nivel global, los desastres relacionados con el agua son los que más daños causan. En particular, son las inundaciones producto de lluvias extremas, asociadas a el fenómeno de El Niño, a los Monzones y a los Huracanes, los que mayores desastres han causado en las últimas décadas, y cuya frecuencia e intensidad son exacerbados por el cambio climático.

El contexto descrito, plantea la necesidad de evaluar la intensidad y magnitud de los desastres, ocurridos y por ocurrir, como consecuencia de la exposición a peligros de origen natural, tomando en cuenta las afectaciones al medio ambiente. Para ello, esta evaluación propone como aporte, integrar la métrica de la dimensión ambiental del daño, a la dimensión social (salud física o psicológica) y económica, mediante el uso del indicador de años de vida ajustados por discapacidad, DALY por sus siglas en inglés.

La metodología propuesta, calcula el impacto ambiental, mediante la perspectiva de pensamiento de ciclo de vida, en la categoría de Calentamiento Global. Impacto que se generaría como consecuencia de la producción de los bienes requeridos para la reposición de la infraestructura dañada por un desastre. El impacto ambiental es luego acumulado con las otras dimensiones del daño, mediante las métricas del DALY, desarrolladas por la Organización Mundial de la Salud y adaptadas por el economista neozelandés Ilan Noy.

La evaluación retrospectiva fue realizada para los daños ocasionados en Perú por los fenómenos de El Niño de los periodos 1983/83, 1997/98 y 2017. Para la evaluación prospectiva, se seleccionó al sector en riesgo por inundación del distrito de Piura, capital de la provincia de Piura, ubicada en el norte peruano, por ser una de las regiones históricamente más afectadas por este fenómeno.

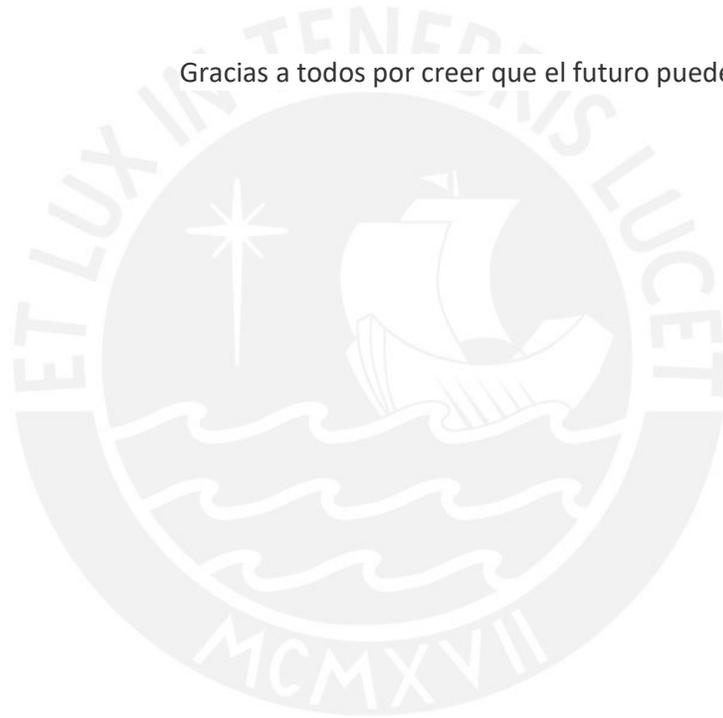
La aplicación de la metodología propuesta, se basó en la cuantificación de existencias (stocks) urbanas para el cálculo de los principales materiales contenidos (p. ej., concreto, acero, etc.) en el área de estudio. En función del inventario georreferenciado de los materiales embebidos en las existencias urbanas, fue posible cuantificar la exposición al riesgo, en cada una de las dimensiones del daño. Se utilizó para ello, las plataformas gratuitas de COPERNICUS y QGIS para adquirir y procesar imágenes satelitales de la zona de estudio mediante métodos de clasificación supervisada, basados en el algoritmo estadístico de máxima verosimilitud.

Los resultados obtenidos muestran que es viable el uso del DALY para acumular los daños en sus diferentes dimensiones y han permitido establecer que los fenómenos de El Niño de los periodos 82-83 y 97-98 fueron dos y media veces más dañinos que El Niño del 2017 y cerca de 8 veces más perjudiciales que el terremoto de Pisco del 2007, sin embargo, no alcanzaron ni la mitad de intensidad del terremoto de Nueva Zelandia del 2011 o de las inundaciones de Tailandia del mismo año. A nivel prospectivo, la metodología aplicada muestra que se pueden calcular la exposición a riesgos basados en la cuantificación de stocks mediante medios satelitales, sin necesidad de contar con información catastral, (inexistente en algunos distritos en el Perú). También se ha mostrado que es viable la clasificación de coberturas de techos y por ende de tipologías de edificaciones mediante medios satelitales, por lo que, de emplearse el satélite peruano, se podría contar con 100 veces más resolución que la utilizada en este trabajo de investigación, y, por ende, se podría generar planos multidimensionales de riesgo más precisos.

Agradecimientos:

A mi esposa Sandra,
a mis hijos Francesco, Bianca y Franco
a mi madre Mercedes
y a mis asesores
Dr. Ramzy Kahhat y Dr. Ian Vázquez Rowe

Gracias a todos por creer que el futuro puede ser siempre mejor



“Mientras menos se sabe, más se cree saberlo todo ⁽¹⁾”

(1) Efecto Dunning-Kruger

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes	2
1.2	Justificación	5
1.3	Objetivos.....	5
1.3.1	Objetivo General	5
1.3.2	Objetivos Específicos.....	6
1.4	Alcance	6
1.5	Hipótesis	7
2	REVISIÓN LITERARIA	8
2.1	Stock y Ciudades.....	8
2.2	Stocks Antrópicos	9
2.3	Cuantificación de Stocks Antrópicos en la Ciudad	9
2.4	Alcances de la Cuantificación de Stocks Antrópicos en las Ciudades	11
2.5	Estudios de Casos de Cuantificación de Stocks	11
2.6	Metodología de Cuantificación de Stocks	12
2.6.1	Metodología según tipo de conteo.....	12
2.6.2	Metodologías según fuentes de información	13
2.7	Clasificación de Tipos de Stocks y Métodos de Conteo	14
2.8	Aplicación a Casos de Estudio	15
2.9	Stocks Antrópicos Perdidos por Inundaciones.....	19
2.10	Inundaciones y Cambio Climático	19
2.11	Gestión del Riesgo por Inundación en el Contexto del Cambio Climático.....	20
2.12	Eventos Climáticos Extremos	21
2.13	El Fenómeno de El Niño	21
2.13.1	Modos de El Niño	22
2.13.2	Frecuencia en Intensidad del Fenómeno de El Niño	23
2.13.3	Series de Tiempo.....	23
2.13.4	Daños en Perú	24
2.14	Gestión de Riesgos por Desastres en Perú.....	25

2.14.1	Riesgo de Desastres por Peligros Naturales en Perú	25
2.14.2	Riesgo de Desastres por Peligros Naturales en Piura	27
2.14.3	Marco Legal e Institucional	30
2.14.4	Sistema Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres (SINAGERD)	31
2.15	Riesgo y Vulnerabilidad por Inundaciones	32
2.15.1	Vulnerabilidad y Sostenibilidad.....	33
2.15.2	Gestión de Riesgo Sostenible.....	34
2.15.3	Sostenibilidad Urbana y Vulnerabilidad a las Inundaciones.....	35
2.16	Cuantificación De Daños Por Desastres	36
2.17	DALY.....	36
2.18	La Exposición a Desastres.....	37
2.19	Inundaciones	37
2.20	Evaluación De Los Componentes Del Riesgo	38
2.20.1	Modelado Hidrológico - Hidráulico.....	39
2.20.2	Exposición a las Inundaciones.....	40
2.21	Mapas De Riesgo Por Inundación.....	40
3	METODOLOGÍA.....	42
3.1	Evaluación Retrospectiva	46
3.2	Evaluación Prospectiva.....	50
4	RESULTADOS.....	58
4.1	Resultados Retrospectivos	58
4.2	Resultados Prospectivos.....	61
4.3	Hallazgos Inesperados.....	63
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
5.1	Conclusiones.....	64
5.2	Recomendaciones	65
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Clasificación de estudios basados en la cuantificación de Stocks Antrópicos según propuesta.....	15
Tabla 2.3: Relación entre daños por ECE-LLE en Piura y Perú. Daños mensuales normalizados al 100%, por emergencias en Perú del 2003 y el 2018,.....	27
Tabla 3.1 Bases de datos y/o sistemas de gestión de información utilizadas.....	43
Tabla 3.2: Expresiones para el cálculo de DALY según distinciones sociales y temporales. .	45
Tabla 3.3: Relación de campos de daños evaluados por eventos del fenómeno de El Niño y huella de carbono respectiva.....	49
Tabla 3.4: Cálculo de la huella de Carbono del cultivo de 1 hectárea agrícola promedio en los departamentos de la costa norte del Perú.....	50
Tabla 3.5: Relación de datos de cada bloque urbano.....	55
Tabla 3.6: Unidades de vivienda según material el material del techo, (Fuente: INEI).	55
Tabla 3.7: Distribución de habitantes, según tipo de techo (Fuente: INEI).....	55
Tabla 3.8: Índice de composición material.	56
Tabla 3.9: Emisiones de kg CO ₂ eq. de principales materiales de construcción.	56
Tabla 3.10: Intensidad de emisiones de kg CO ₂ eq. de tipologías de vivienda.....	56
Tabla 3.11: Cálculo del área techada para cada bloque urbano.	57
Tabla 4.1: Inventario de daños por desastres en el Perú.	58
Tabla 4.2: Resultados de Daños Retrospectivos por daños de desastres pasados en el Perú.	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Matriz de Clasificación Integrada de Stocks por sus características y métodos de cuantificación.....	14
Figura 2.2: Zonas de monitoreo de ENSO.....	22
Figura 2.3: Serie de tiempo de fenómenos de El Niño fuertes y extraordinarios (Fuente: adaptación propia, basada en publicaciones de Quinn y colegas en 1987 y Hocquenghem & Ortlieb en 1992.	24
Figura 2.4: Emergencia y daños relacionados con ECE vinculados a exceso de precipitaciones en Perú en relación a otros eventos (p. ej., sequías, derrumbes, incendios, etc.) entre el 01/01/2003 al 10/09/2018	24
Figura 2.5: Porcentaje de daños mensuales totales por emergencias en Perú entre 1971 y el 2018	26
Figura 2.6: Relación entre daños por ECE-LLE en Piura y Perú. Índice de daños mensuales totales por emergencias en Perú entre 2003 y el 2018.....	27
Figura 2.7: Relación entre daños por ECE en Piura entre 2003 y el 2018	
Figura 2.9: Registros pluviométricos de estaciones hidrometeorológicas en la cuenca del río Piura	29
Figura 2.10: Clasificación de peligros, adaptación,.....	32
Figura 2.11: Conceptos de DALY y QALY.....	37
Figura 2.12: Metodología y software HEC-HMS que calcula el caudal punta e hidrograma en una sección del río, en función de registros de Información meteorológica,.....	41
Figura 3.1. Ubicación de caso de estudio: Zonas en Riesgo por Inundación en distrito de Piura.	42
Figura: 3.2: Resumen metodológico de combinación de procesos de acumulación de daños	46
Figura 3.3: Imagen ráster, Sentinel 2, banda infrarroja resaltada, del distrito de Piura.....	51
El perímetro resaltado corresponde al área expuesta a inundaciones.....	51
Figura 3.4: Firmas espectrales de tipos de cobertura, utilizadas para la clasificación supervisada.	52
Figura 3.5: Procedimiento de clasificación supervisada de coberturas de techo de imágenes ráster del Sentinel 2 en las bandas RGB y NIR con resolución de 10x10mts. realizado en QGIS. a: Delimitación manual de bloques urbanos (manzanas); b: Superposición sobre imágenes ráster RGB + NIR; c: Clasificación supervisada de coberturas; d: Conteo de píxeles por cada tipo de cobertura.	52
Figura 3.6: Clasificación supervisada de tipos de cobertura de superficie.....	53
Figura 3.7, a: Delimitación de bloques urbanos; b: Cuantificación de unidades catastrales por bloque urbano; c: Número de pisos por bloque; d: Zonificación de áreas de viviendas donde:	

(1), áreas comerciales y/o industriales (2), viviendas materiales noble y (5) son viviendas precarias..... 54

Figura 4.1: El costo en DALY (económico más social) per cápita de los eventos de El niño en el Perú y su comparación con otros desastres. 59

Figura 4.2: El Costo En DALY de Los eventos de El Niño en El Perú, a: DALY en días per cápita y b: Daly en años, total del desastre..... 60

Figura 4.3, a: Intensidad de uso de acero en kgs/m² en el distrito de Piura; b: Intensidad de uso de concreto y mortero en kgs/m² en el distrito de Piura; c Distribución de acero en kgs/m² en el distrito de Piura, d Distribución de concreto y mortero en kgs/m² en el distrito de Piura. 61



SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CO2:	Dióxido de Carbono
CENEPRED:	Centro Nacional de Prevención de Desastres
COFOPRI:	Organismo de Formalización de la Propiedad Informal
CRED:	Centre for Research on the Epidemiology of Disasters
DALY:	Disability-Adjusted Life Year
DEM:	Digital Elevation Model
DESINVENTAR:	Sistema de Inventario de Desastres
ECE:	Eventos Climáticos Extremos
EMDAT:	Emergencies Data (Data base)
ENFEN:	Estudio Nacional del Fenómeno de El Niño
ENOS:	El Niño Oscilación del Sur
ENSO:	El Niño Southern Oscillation
FEN:	Fenómeno de El Niño
GWP:	Global-warming Potential
GDB:	Global Burden of Disease
INEI:	Instituto nacional de estadística
MINAGRI:	Ministerio de Agricultura
NIR:	Near Infrared
LIDAR:	Laser Imaging Detection and Ranging
LLE:	Lluvias Extremas
INDECI:	Instituto nacional de Defensa CIVIL
INGEMMET:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
IPCC:	International Panel for Climate Change
OEA:	Organización de Estados Americanos

OMS:	Organización Mundial de la Salud
ONU:	Organización de Naciones Unidas
PALPLAM:	Plan Nacional de Acción Ambiental
PLANAGERD:	Plan nacional de Gestión de Riesgos de desastres
PREDES:	Centro de Estudios y Prevención de Desastres
QALY:	Quality Adjusted Life Years
QGIS:	Quantum Geographical information System
RGB:	Red, Green and Blue
SAR:	Synthetic Aperture Radar
SENAMHI:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía
SIEA:	Sistema integrado de Estadísticas Agrarias
SIG:	Sistema de Información Geográfico
SNIRH:	Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos
SINAGERD:	Sistema Nacional de gestión de Riesgos de Desastres
SINPAD:	Sistema Nacional de Información para la Prevención y Atención de Desastres
UAV:	Unmanned Aerial Vehicle
USGS:	United States Geological Survey
ZCIT:	Zona de convergencia Intertropical

1. INTRODUCCIÓN

Los desastres relacionados con el agua representan el 90% de todos los desastres a nivel global (UNESCO, 2012). La Organización Meteorológica Mundial pronosticó en el 2016 que los fenómenos meteorológicos extremos no solo seguirán en el 2017 y en adelante, si no que podrían ser más pronunciados. Este parece ser el caso de las lluvias extremas (LLE) en diversos sectores de la costa peruana, ocurridas durante el verano del 2017, sin pronóstico previo oportuno, y atribuidas al fenómeno de El Niño (FEN).

El FEN, se presentó en el 2017, de forma diferente, a los modos conocidos con que evolucionaron las anomalías térmicas de las aguas del Pacífico central (Extraordinario, Canónico y Modoki) y recibió el nombre de “El Niño Costero”, debido a su efecto localizado en las costas peruanas. (Ashok et al, 2007; Lavado-Casimiro & Espinoza, 2014; Machuca R. & Takahashi K., 2014; Takahashi et al, 2011). El Niño Costero ocasionó pérdidas económicas en Perú que ascendieron a US\$ 3,124 millones de dólares (INDECI, 2017), en apariencia superiores, en valor no actualizado a las estimadas de los eventos del El Niño de los periodos 1982-83 y 1997-98.

Los desastres de origen natural como las inundaciones atribuidas al fenómeno de El Niño y otros, ocasionan, en adicional a los daños económicos, daños sociales en términos de afectación a la salud física y psicológica de los afectados, así como daños ambientales a consecuencia de la reposición de las existencias perdidas. La adecuada valoración de la magnitud de un desastre requiere entonces poder apreciar la relación entre las diversas dimensiones del daño, por ello, el presente trabajo de investigación, propone un método para acumular todas las dimensiones del daño mediante el uso del indicador de ajuste de años de vida por discapacidad, conocido por su sigla en inglés como DALY (Disability-Adjusted Life Year).

El indicador DALY fue originalmente desarrollado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y otras instituciones a inicios de los noventas, con la finalidad de medir la carga global de una enfermedad o afectación a la salud y combina, en un solo valor, la mortalidad y la morbilidad (Murray, Lopez, & Jamison, 1994). Su utilización es de uso común para expresar los daños a salud como pueden ser aquellos directamente ocasionados en un desastre, o, en el largo plazo, la afectación a la salud de los seres humanos, como los derivados de los impactos ambientales. En consecuencia, la expresión del impacto ambiental atribuido al Calentamiento Global, no requerirá de transformaciones.

Finalmente es también viable transformar el componente económico del daño por desastres a unidades de DALY, mediante la metodología propuesta por Ilan Noy, y que consiste en dividir el valor económico entre el tiempo de vida útil utilizado por un individuo para generar ese ingreso (2015).

La presente propuesta metodológica, permitirá una mejor valoración de la cuantía y tipo de exposición al peligro y, por consecuencia, una mejor valoración del riesgo. Este objetivo exige

también la mejora del entendimiento de la fenomenología de los eventos climáticos extremos (ECE), en particular, de el FEN, al cual se le atribuyen lluvias extremas en parte importante del territorio peruano, principalmente en la Costa Norte.

En la actualidad, las existencias en la ciudad (stocks urbanos) tienen el potencial de reemplazar recursos primarios al prever su reuso luego de su fin de vida (por obsolescencia o desastre) para lo cual, Mesta, Kahhat, & Santa-Cruz aportaron avances metodológicos orientados a geolocalizar y clasificar los stocks urbanos a partir de datos censales georreferenciados, metodología que fue aplicada a la ciudad de Chiclayo, en Perú (Mesta, Kahhat, & Santa-Cruz, 2018). Así mismo, se han desarrollado métodos para predecir la generación y ubicación de escombros que se puedan generar durante un evento sísmico, método basado en la teoría probabilística de la ocurrencia de un sismo y los daños que estos puedan ocasionar a las edificaciones, según vulnerabilidad de cada tipología de edificación (García-Torres, Kahhat, & Santa-Cruz, 2017). Ambas metodologías son utilizadas para la obtención de mapas de geolocalización de stocks en zonas urbanas.

Adicionalmente, la cuantificación y geolocalización de los stocks expuestos en zonas de riesgo de desastres (mediante el uso de técnicas de clasificación supervisada de imágenes satelitales), puede ser también, un medio idóneo para estimar la distribución, en unidades de DALY, de los diferentes componentes expuestos al peligro (la población, la infraestructura y el medio ambiente), especialmente en donde no existen datos catastrales.

En vista de estos avances, es necesario utilizar herramientas adecuadas y un marco metodológico que permita valorar las pérdidas en el pasado y, de forma georeferenciada la exposición a potenciales pérdidas en el futuro como consecuencia del FEN.

1.1 Antecedentes

Los desastres naturales relacionados con el agua son exacerbados por el cambio climático, la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2018) confirmó que el 2016 fue el año más caliente jamás registrado. Las inundaciones son el tipo de desastre natural más costoso en términos de número de víctimas y daños materiales (Tobergte & Curtis, 2013). Durante el siglo 20, el 12% de las muertes debidas a catástrofes naturales fueron consecuencia de inundaciones, alcanzando un total de 93,000 víctimas en todo el mundo (Defra & Environment Agency, 2006) solo en 1998, año de fenómeno de El Niño catalogado como extraordinario, los daños por desastres naturales relacionados al clima superaron los costos de todas las ocurrencias durante la década del 80 (Vargas, 2002).

Los fenómenos climatológicos extremos en el Perú, se manifiestan como inundaciones por desborde de ríos, huaycos, heladas, granizadas, maretazos, ventiscas, tormentas eléctricas, entre otras, pero son, las lluvias extremas, inundaciones y huaycos asociados a ellas, las que por su extensión e impacto comprometen más el desarrollo nacional, y están asociadas al

fenómeno de El Niño. El reciente FEN ocurrido a inicios del 2017 ocasionó la afectación, en diversos grados, de más de 1'850,000 peruanos. Aproximadamente 437,000 viviendas fueron dañadas y un 15% de ellas, destruidas o quedaron inhabitables (INDECI, 2017).

Durante el verano del 2017, las precipitaciones extremas que usualmente causan desbordes generalizados de los ríos que atraviesan las zonas costeras, se dieron también en las cuencas medias, y ocasionaron huaycos que discurrieron por quebradas usualmente secas (Vázquez-Rowe, Kahhat, & Lorenzo-Toja, 2017). Las pérdidas económicas producto de los daños a la infraestructura nacional (carreteras, caminos rurales, puentes, centros educativos, establecimientos de salud, áreas de cultivo y canales de riego) fueron cuantiosas y su valorización totalizó US\$ 3,124 millones de dólares, 1.6% del PBI. En algunas regiones, como las de Huancavelica y La Libertad, las pérdidas alcanzaron el 9% del PBI regional (INDECI, 2017).

Las pérdidas del El Niño del 2017 fueron en apariencia similares a las del fenómeno de El Niño de 1997/98 de US\$ 3,500 millones (dólares de 1998) y superiores a las pérdidas ocasionados por el fenómeno de El Niño de 1982/83, que ascendieron a US\$ 1,000 millones (dólares de 1983), sin embargo, fueron inferiores en términos de porcentaje del PBI en comparación a los Niños del 1997/98 y 1982/83 en los cuales los daños representaron 5% y 3.2% del PBI respectivamente (INDECI, 1998).

Las diferentes dimensiones de las pérdidas por desastres naturales como las ocasionadas por el FEN, plantean la necesidad de nuevos y mejores métodos de evaluación de los daños por desastres, con la finalidad de mitigar los posibles daños en toda su amplitud. Estos métodos requieren de la cuantificación del stock material expuesto, de su relación con el daño a las poblaciones afectadas y el potencial impacto ambiental por reposición de la infraestructura dañada.

El riesgo de desastres, como las inundaciones por ECEs, son conceptualizado como funciones probabilísticas de ("Peligro x Vulnerabilidad"). Son de difícil cuantificación, tanto por la carencia de información adecuada de la exposición y de su vulnerabilidad a los peligros, como por la inexistencia de registros técnicos y fiables de eventos ocurridos en el pasado que permitan predecir con precisión aceptable los periodos de retorno de eventos climáticos. En particular, cuando el riesgo está referido a ECEs, que tienen periodos de retorno largos y alta incertidumbre de estimación de la probabilidad de ocurrencia de la amenaza (peligro), lo que genera que la población y las diferentes instancias de gobierno subestimen los riesgos asociados (CEPAL, 2014).

En adicional, para la adecuada valoración del riesgo, se debe cuantificar la vulnerabilidad de cada componente expuesto al peligro. Usualmente, esto se logra a través de la elaboración de curvas de vulnerabilidad que intentan predecir el daño que podría ocasionar diferentes intensidades con que un peligro de origen natural se desencadena, aspecto que agrega mayor incertidumbre aún, a la estimación del riesgo (Gracia et al., 2007; Perozo-Ynestroza, 2009; Wicht & Osinska-Skotak, 2016).

Los métodos determinísticos de evaluación del riesgo de inundaciones están basados en el modelamiento hidrológico-hidráulico de la cuenca en donde se evalúa el mismo, para ello, se aplican métodos probabilísticos y estadísticos de evaluación de la pluviometría histórica, así como técnicas de modelamiento hidráulico de los tirantes asociados los caudales máximos probables para diferentes periodos de retorno (Choquehuanca Solorzano, 2012; Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM & Centro Nacional de Modelamiento-CNM, 2017). Finalmente, los tirantes esperados para los diferentes periodos de retorno, dependen, en el caso de inundaciones fluviales, de las características geomorfológicas de las cuencas, las mismas que suelen variar tanto por la acción antrópica como por procesos naturales como la colmatación de los lechos de escorrentía, producto del acarreo de sedimentos durante periodos de avenidas anteriores. De forma análoga, en el caso de las inundaciones pluviales, estas dependerán del relieve local y de la existencia o no de redes de drenaje y de las condiciones de las mismas.

Otras metodologías usualmente aplicadas en la evaluación del riesgo, son de carácter cualitativo, como las aplicadas por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENEPRED) que se basan en análisis jerárquicos de los factores de peligrosidad y vulnerabilidad, basado en la metodología de análisis multicriterio propuesta por Saaty (1980). El proceso se basa en la ponderación de la peligrosidad y la vulnerabilidad en función de descriptores que valoran la mayor o menor contribución que cada elemento de caracterización que el peligro pueda tener (p. ej., pendiente, cota, tipo de suelo, población vulnerable, etc.).

En términos generales, ambos métodos valoran de forma independiente los riesgos económicos de los sociales y usualmente, sino siempre, omiten el riesgo ambiental (CENEPRED, 2014b; CEPAL, 2007; Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM & Centro Nacional de Modelamiento-CNM, 2017; Olga, 2011). Esto conlleva a que los mapas de riesgos con que se cuenta actualmente, tengan limitaciones para su uso práctico en la mitigación o prevención de los desastres.

Así ocurrió en marzo del 2017 en Piura, en la cual, los distritos de Catacaos, La Arena y Cura Mori entre otros, sufrieron inundaciones por desborde del río Piura. El desborde del río Piura ocurrió a pesar de que los caudales máximos registrados fueron menores a los ocurridos durante el fenómeno de El Niño de 1997-98 (INDECI, 2017). Estas limitaciones en los modelos de cuantificación de riesgos se deben a la variabilidad temporal del riesgo y a las dificultades de interpretación que estos presentan a la gobernanza para ser traducidos en políticas efectivas. De otro lado, los planos de riesgo elaborados por CENEPRED por su naturaleza cualitativa pueden generar una ponderación inadecuada del riesgo, toda vez que sectores considerados con poca probabilidad de riesgo de ser afectados por un peligro, y alta vulnerabilidad social pueden exhibir una sobrevaloración del riesgo.

1.2 Justificación

La evaluación de los diversos impactos que ocasionan las inundaciones por ECE, puede mejorarse mediante la cuantificación del stock urbano, tanto para la adecuada valoración de la vulnerabilidad de la población (vulnerabilidad social) como para la cuantificación de los potenciales impactos ambientales relacionados a la reposición de infraestructura. Si bien es usual discriminar el potencial daño de la dimensión social y económica, el potencial daño ambiental es usualmente omitido. El daño de un desastre, se basa en la naturaleza de la exposición ante la amenaza, por lo que luego de desencadenada esta, es la falta de reacción adecuada y la baja resiliencia, lo que prolongan la duración de los efectos perniciosos de un desastre y por lo tanto, el aumento del daño (Bakkensen, Fox-Lent, Read, & Linkov, 2017; de Almeida, Bates, & Ozdemir, 2018; S. Jonkman & Dawson, 2012). La exposición al peligro, es en primer término, la que desencadena los otros componentes del riesgo, por lo que la planificación territorial, es el principal instrumento para la reducción del riesgo (Vargas, 2002), y es indispensable para implementar políticas de gestión pre y post desastre.

Estudios de diversos desastres por inundaciones, entre los que se incluyó el desastre por Huaycos en Chosica en 1987, muestran que la exposición a las amenazas y la vulnerabilidad relacionada con la estructuración social, son aspectos de una misma problemática, diferenciables entre sí, según el tipo de vulnerabilidad: espacial, social, institucional, técnica y propio sistema territorial. Estos son los factores desencadenante de las crisis, (Hardy & Robert, 2009). El Sistema territorial debe ser entendido como un conjunto de elementos en interacción, en donde la perturbación de uno de sus componentes tendrá consecuencias sobre los elementos que dependen de él (Ercole & Metzger, 2009).

Por lo expuesto, el desarrollo de nuevas y mejores metodologías para integrar el análisis de las diferentes dimensiones de la exposición del stock, en zonas amenazadas por inundaciones, permitiría lograr una valoración del riesgo y por ende una mejor gestión del mismo que incluya políticas de mitigación para cada una de las dimensiones del daño.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

El objetivo principal del presente trabajo de investigación es la innovación metodológica para el cálculo del riesgo por desastres naturales, en particular por inundaciones originadas por eventos climáticos extremos. Para ello, se utilizará la cuantificación de stock perdidos por desastres en el pasado o expuestos a ser perdidos por desastres en el futuro.

Dado que, la valoración del riesgo implica a priori la valoración de las pérdidas en las dimensiones económicas, sociales y ambientales, está, se realizará mediante la utilización del indicador de DALY, para evaluar de forma integrada y retrospectivamente los daños por desastres asociados a el fenómeno de El Niño en el Perú. Así mismo, la valoración prospectiva de los potenciales daños por desastres, se realizará mediante la cuantificación de la exposición a desastres, para lo cual se utilizará la clasificación supervisada de imágenes satelitales en la cuantificación de las existencias (stocks) expuestas al riesgo por inundaciones en el distrito de Piura.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a. Comprender el alcance de los métodos existentes para la cuantificación de stocks y sus diversas aplicaciones con la finalidad de evaluar la exposición de la infraestructura urbana, el medio ambiente y población en zonas de riesgo por inundación.
- b. Ampliar el conocimiento del Sistema Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres y de la gestión y modelado de riesgo por inundaciones mediante la revisión literaria.
- c. Analizar origen, frecuencia, magnitud y daños por inundaciones por ECEs en Perú, en particular referidos a el Fenómeno de El Niño.
- d. Desarrollar un marco metodológico de evaluación de riesgo que incluya la cuantificación de stock, información de coberturas de suelo geoespacializadas mediante el uso de imágenes satelitales, información censal y análisis de ciclo de vida para la estimación del riesgo en sus diferentes formas.
- e. Analizar los alcances del uso de herramientas tecnológicas idóneas y de última generación como el uso de información satelital para la clasificación de coberturas de suelo y áreas edificadas.
- f. Desarrollar el concepto de riesgo sostenible y utilización del DALY para su métrica.
- g. Elaborar mapas de distribución de la exposición de daño potencial máximo en las zonas del caso de estudio basados en la unidad del DALY.
- h. Proponer recomendaciones para la implementación de políticas públicas en lo concerniente a prevención, mitigación y orientación del gasto público en zonas de riesgo por inundaciones.

1.4 Alcance

Se utilizará la unidad del DALY como indicador del valor del daño por desastres ocurridos o por ocurrir, para integrar las diversas dimensiones de este: social, económica y ambiental, con base en la cuantificación de stocks urbanos (exposición). Se aplicará el indicador de forma retrospectiva para la evaluación nacional de los daños por Fenómeno de El Niño ocurridos en el Perú en los periodos 1982/83, 1997/98 y 2017 y prospectivamente para la evaluación de la exposición en la zona en riesgo por inundación del distrito de Piura como caso de estudio.

1.5 Hipótesis

La pérdida de stocks antrópicos es la base para la cuantificación de todas las dimensiones de daños por desastres, tanto para eventos pasados como para eventos futuros, su métrica, en las dimensiones económicas (pérdida de infraestructura), sociales (físicos y psicológicos de los seres humanos) y ambientales (referida al daño relativo al calentamiento global ocasionado como consecuencia de las emisiones de gases de efecto invernadero derivado de la producción de bienes materiales para la reposición de los stocks perdidos) puede ser integrada mediante el uso del indicador DALY.

Más aún, la evaluación prospectiva puede ser auxiliada por métodos de clasificación supervisada de imágenes satelitales, la misma que, acotada por información censal, puede ser insumo esencial para determinar la magnitud de la exposición del riesgo a desastres de origen naturales en las diferentes dimensiones de este. En particular, como es el caso de estudio, a la evaluación del riesgo por inundaciones asociadas al Fenómeno de El Niño.



2 REVISIÓN LITERARIA

El objetivo propuesto, consiste en una metodología orientada a evaluar la pérdida de stocks antrópicos en zonas de inundación por el Fenómeno del Niño. Tiene por finalidad, lograr una mejor valoración de la exposición a los riesgos por inundación, como son, los relacionados con el FEN. Esto exige profundizar a detalle, aspectos relativos a cuantificación de las existencias materiales en las ciudades (stocks urbanos), la naturaleza de la exposición, la determinación de zonas de riesgo de inundación y las causas y consecuencias del FEN en el Perú, así como la métrica de stocks antrópicos afectados, utilizada para evaluar actualmente los desastres.

2.1 Stock y Ciudades

La ciudad es un asentamiento humano caracterizado por agrupar edificaciones y centralizar el consumo de bienes. Es considerada como un sistema ecológico territorial, fuertemente afectado por las actividades humanas (Ioppolo et al., 2018). En ese sentido, la definición de los stocks presentes en las ciudades (stocks urbanos), deben ser entendidos, como propone la presente investigación, como las existencias materiales que han sido objeto de transformación por el ser humano. Estos deben comprender a todos los elementos edificados o modificados por el ser humano en relación a su estado natural y que están presentes en un asentamiento humano, o en su entorno. Es decir, comprenden a toda estructura artificial edificada sobre el paisaje, originalmente natural, y/o elementos naturales, transformados e incorporados al hábitat humano. La relación geolocalizada de stocks urbanos, es finalmente, el inventario espacialmente distribuido de la transformación infringida por el hombre, a la naturaleza, para albergar desde pequeños pueblos hasta grandes ciudades y la infraestructura de soporte de las mismas (Kleemann, Lederer, Aschenbrenner, Rechberger, & Fellner, 2016; Lederer, Kleemann, Ossberger, Rechberger, & Fellner, 2016; Sun, Xie, & Zhao, 2019; Yu et al., 2018).

Definido de esta manera, los stocks urbanos son todos stocks antrópicos y comprenden todo tipo de edificaciones presentes en una ciudad como: edificios, viviendas, escuelas, hospitales, almacenes, fábricas, todo tipo de vías peatonales y carrozables, vías férreas, puentes, redes sanitarias, redes eléctricas, redes de comunicación y demás elementos presentes para la prestación de servicios al sistema urbano, como puertos y aeropuertos, y cualquier otro elemento, ya sea de carácter ornamental, o que estos presten servicios ecosistémicos a la ciudad, como parques, jardines, cuerpos de agua, entre otros (Guo, Hu, Zhang, Huang, & Xiao, 2014; Heeren & Hellweg, 2018; Schiller, Müller, & Ortlepp, 2017).

Sin embargo, la transformación de la naturaleza para albergar a los seres humanos, no se limita al ámbito urbano, y comprende también el ámbito rural, el mismo que en adicional a los elementos urbanos anteriormente descritos, comprende a todo tipo de áreas intervenidas para procurar los bienes y servicios demandados por las ciudades y sus habitantes, como: plantas de tratamiento de aguas, represas, carreteras, hidroeléctricas,

líneas de transmisión eléctrica, de gas o de fibra óptica, granjas avícolas, áreas pecuarias, áreas agrícolas, minas, canteras, etc.

Otro aspecto relevante para entender la naturaleza de las existencias (stocks) incorporadas por el ser humano en su entorno habitable, es el relativo a toda la diversidad de los bienes de consumo utilizados, como muestra podemos mencionar: computadoras, muebles, vehículos motorizados, electrodomésticos, vajillas, envases y sus contenidos, e inclusive prendas de vestir entre muchos otros. Todos los bienes descritos forman parte del inventario de existencias presentes en el hábitat humano y por ende son parte de los stocks antrópicos.

Este análisis preliminar, nos obliga a ampliar la relación de bienes materiales que deben ser comprendidos como parte del stock antrópico, para así, poder describir la diversidad y naturaleza de los bienes que forman parte del patrimonio físico del entorno humano, a efectos de incorporar todas las posibles dimensiones en la cuantificación de las pérdidas de estos. Estas dimensiones del concepto pueden ser físicas, económicas, contables, espaciales o pueden ser también definidas por el grado de afectación del medio ambiente y los servicios ecosistémicos que esta presta.

2.2 Stocks Antrópicos

Se entiende para los objetos del presente estudio, que los stocks son las existencias físicas inventariables, por lo tanto, “Stocks Antrópicos”, son todo bien físico y tangible, elaborado y/o transformado de su estado natural por el ser humano, usualmente, para la prestación de servicios de habitabilidad contemporánea de sus asentamientos y su modo de vida. Los Stocks Antrópicos, comprenden, todo aquello que no está en su estado natural y que, por ende, ha sufrido la intervención humana con el consecuente consumo energético y afectación de recursos naturales en su transformación (Kohler & Hassler, 2002; Lederer et al., 2016).

Expresado así, se puede abordar el reto de entender los avances y utilidades de la cuantificación de la pérdida de stocks antrópicos (SA) por desastres (de origen natural o tecnológico) y su utilización como insumo para diferentes tipos de estudio, y lo que es más importante, integrar las diversas metodologías emergentes basadas en la cuantificación del SA, en un marco contextual común.

2.3 Cuantificación de Stocks Antrópicos en la Ciudad

La literatura que trata de stocks urbanos es amplia, y su cuantificación tiene una gran variedad de aplicaciones en diversos campos de la investigación (Kohler and Hassler 2002), el largo tiempo de residencia del stock en edificaciones e infraestructura debe ser tomado en cuenta para el modelado temporal de las existencias urbanas. Los stocks urbanos son el grupo más grande en masa y más demandantes en recursos y energía, (Gallardo, Sandberg,

& Brattebo, 2014) y permanecen en el entorno natural por más tiempo que cualquier otro (B. Müller, 2005; Hashimoto, Tanikawa, & Moriguchi, 2009; Tanikawa & Hashimoto, 2009).

Desde el punto de vista de la ecología industrial y el criterio de economía circular, los stocks urbanos son considerados un gran repositorio de materiales de construcción, con el potencial para reemplazar recursos primarios en el futuro (Mesta et al., 2018), su reutilización exige tener una comprensión del tamaño, la composición y la dinámica de los mismos (Kohler and Hassler 2002; Ortlepp et al. 2016). Sin embargo, a pesar de que la mayoría de los stocks de infraestructura urbana son de larga vida útil, existe poca investigación sobre su tiempo de residencia o cambios en los impactos ambientales (Reyna & Chester, 2015)

En disciplinas como la gestión de riesgos de desastres, la caracterización y predicción de la cantidad de escombros generados, permite prever posibles respuestas previas al desencadenamiento del mismo (Hirayama, Shimaoka, Fujiwara, Okayama, & Kawata, 2010), esto facilita la planificación de la disposición final de escombros o el eventual reúso en la restauración de las áreas afectadas (García-Torres et al., 2017). Si bien, a pesar de que algunos países o comunidades cuentan con regulaciones para este fin (como la Directiva Marco de Residuos de la UE), la recuperación, reciclado y reutilización de los minerales contenidos en los materiales de construcción, es aún limitada. (Ortlepp & Deilmann, 2015). El modelado de materiales contenidos en edificios, puede ser también utilizado para evaluar la demanda de energía de las ciudades, lo que permite desarrollar políticas de priorización de medidas de eficiencia en el consumo de energía en las edificaciones basadas en la capacidad de aislamiento de los materiales de fachada (Österbring, 2016).

Desde una perspectiva integral, la interacción entre la ciudad y su entorno natural está determinada por el cambio de uso de suelos, por lo que la cuantificación de stocks urbanos, permite también, estimar el balance entre los servicios ecosistémicos perdidos y los eventualmente generados en la ciudad (Zank, Bagstad, Voigt, & Villa, 2016). Combinar la valoración económica del crecimiento de stocks urbanos con una adecuada valoración de los servicios ecosistémicos, permitiría conocer los costos y beneficios de las estrategias de desarrollo urbano sostenibles, mitigando la pérdida del capital natural y la reducción o pérdida de los servicios ecosistémicos (Zank et al., 2016) y conocer la carga ambiental por gases de efecto invernadero del stock urbano. El conjunto de conceptos permitiría una mejor descripción del metabolismo urbano y desarrollo de políticas base en modelos de diseño urbano sostenibles (Kennedy, Pincetl, & Bunje, 2011).

Así también, los avances tecnológicos y metodológicos permiten en la actualidad predecir y georreferenciar la generación de escombros después de un evento sísmico, esto posibilita la elaboración de estrategias de prevención y planes de gestión más eficientes y oportunos y generar mapas de desechos y riesgos que permitan, a priori, identificar las zonas con mayor probabilidad de afectación, y establecer rutas de entrega efectivas para nuevos materiales de construcción (García-Torres et al., 2017). Sin embargo, la motivación creciente de los stocks urbanos como objeto de investigaciones, exige mejorar la información relativa a la

composición de las edificaciones (Kohler and Hassler 2002). Si bien, como propone Hirayama y otros, las autoridades de gestión de desechos y medio ambiente, deberían establecer sistemas de gestión de desastres efectivos y apropiados para la remoción de emergencia de escombros de los distritos urbanos, y su eliminación (2010), éstas deberían incluir también estrategias de reutilización más efectivas.

2.4 Alcances de la Cuantificación de Stocks Antrópicos en las Ciudades

La cuantificación de stocks urbanos es la base de numerosas disciplinas emergentes, que están fundadas en torno a criterios de economía circular y buscan entender la evolución de las ciudades y su interacción con el medio ambiente. Son en las ciudades donde reside más del 50% de la población mundial, y se prevé, que alberguen más de 6,000 millones de habitantes para el 2050, es decir, cerca de dos tercios de la población mundial proyectada (ONU Habitat, 2009). Debido a esta tendencia, y desde la perspectiva del metabolismo urbano, esto constituye una demanda masiva de edificaciones e infraestructura (Guo et al., 2014), altamente intensivos en el uso de materiales así como de bienes muebles, que desencadenarán un desenfrenado consumo de recursos naturales y transformación de uso de suelos para albergar la creciente expansión urbana. Es en consecuencia, el sector de la construcción, el principal impulsor de este consumo (Stephan & Athanassiadis, 2018).

El metabolismo de las ciudades y su interacción con el entorno, afectan tanto a la naturaleza en su capacidad de provisión de recursos, como a la población expuesta a riesgos naturales. Se requiere, por ende, conocer la dinámica de los procesos de demanda de uso y afectación de suelos, así como, la dinámica del flujo de recursos naturales, uso y desecho de los mismos para entender los niveles de stress a que los seres humanos sometemos a nuestro entorno natural. La mayoría de las investigaciones del quinquenio pasado, se habían centrado en los flujos y no en los stocks, los pocos estudios de poblaciones se limitaron a un material en específico, a áreas pequeñas, o a cortos períodos de tiempo (Tanikawa, Managi, & Lwin, 2014), además, no hay estudios que examinen las relaciones entre el stock de materiales y los impulsores económicos que generan la acumulación (Fishman, 2016).

2.5 Estudios de Casos de Cuantificación de Stocks

Las estimaciones del stocks en uso se han realizado durante aproximadamente 70 años, y más del 70% de las publicaciones son posteriores al año 2,000 (Gerst & Graede, 2005). A efectos de comprender los alcances y posibilidades de la cuantificación de Stocks, se analizaron números estudios, entre los que se resaltan los adjuntos en la tabla A.1 que se adjunta como anexo.

2.6 Metodología de Cuantificación de Stocks

La naturaleza variada de los alcances de los casos evaluados y la diversidad de objetos contabilizados como “stocks”, exige realizar las distinciones metodológicas de estos procesos. La metodología para cuantificar stocks se deberá elegir en función de los objetivos y el alcance de cada estudio, así como de la naturaleza de los objetos a inventariar y del nivel de resolución de los resultados deseados. En términos de temporalidad, la cuantificación puede ser para un periodo de tiempo específico, o con la finalidad de analizar series de tiempo. En términos de resolución de la información que se pretende evaluar y/o mostrar, esta podrá ser muy detallada, a nivel de cada edificación dentro de la zona de estudio, o a nivel agregado o estimado a mayor escala (menor resolución) para su apreciación regional, nacional o global.

De lo expuesto y de la revisión de diferentes estudios de casos, para cada proceso de cuantificación de stocks, se deberá optar por la metodología que se adecue a los alcances de la investigación y a la disponibilidad y detalle deseados. Por lo que es apreciable de la revisión literaria de casos, que cada estudio aborda también el reto de realizar adecuaciones metodológicas particulares y eventualmente novedosas, las mismas que evolucionan en la medida que nuevas y mejores tecnologías se desarrollan. Sin embargo, es importante precisar que metodología de cuantificación de stocks estará finalmente limitada por la disponibilidad de información existente, usualmente escasa y con diferentes niveles de detalles según las regiones o localidades asociadas al alcance del estudio.

2.6.1 Metodología según tipo de conteo

Los tipos de metodologías se pueden agrupar en tres categorías: contabilidad ascendente, contabilidad descendente y una tercera categoría denominada de metodología mixta, que comprende una combinación de las dos primeras.

Todos los métodos ofrecerán mejores resultados en la medida que se cuenten con estadísticas históricas sólidas, y tienen en común el uso coeficientes de intensidad de materiales para cada tipo de objeto inventariado, esto es la cantidad de un material específico por unidad de objeto y el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para su representación georeferenciada.

El método de contabilidad ascendente, comprende el inventariado de objetos de uso final en un área definida en un punto dado en el tiempo y su agregación de forma ascendente hasta la escala que se desee evaluar. Esta información puede ser directamente proporcionada por los sistemas de registros de propiedades nacionales o tributarios locales o similares, por levantamiento directo de información en campo o por métodos como el utilizado por (Mesta et al., 2018) consistente en transformar la información proporcionada por Google Street View entre otros. Se requieren dos especificaciones para contabilidad ascendente: una medida del stock total (m^2 de espacio de piso, etc.) e indicadores para las composiciones de material de cada objeto del conteo (Ortlepp & Deilmann, 2015).

En adicional, la contabilidad descendente, parte de la información a gran escala (nacional, regional), es compatibles con análisis de flujo de materiales y permite evaluar el flujo de stocks de materiales en el tiempo, así como calcular el stock específico en un momento determinado mediante el balance acumulado de ingresos y egresos al sistema. La información obtenida por este método facilita conocer la vida útil del stock (Tanikawa, Fishman, Okuoka, & Sugimoto, 2015).

Finalmente, la metodología mixta es una combinación de ambas metodologías que consiste en calibrar la información descendente en función de conteos ascendentes de alguna dimensión de los stocks. Es decir, se hace uso de la información disponible, la cual rara vez es completa con la finalidad de acotar los procedimientos de conteo. En este método se puede considerar los modelos de conteo impulsados por demanda propuestos por Tanikawa (Tanikawa et al., 2015).

2.6.2 Metodologías según fuentes de información

La metodología de cuantificación de stocks puede ser también diferenciada en tres categorías, según la fuente que se utilice. Esta puede ser directa cuando sea basada en datos estadísticos, indirecta, denominada por Tanikawa & Hashimoto como Modelo Impulsado por Demanda (2009), en el cual, el origen de la información es producto de la deducción a partir de otros parámetros, como estadísticas sociales o económicas, o finalmente, cuantificación por teledetección, basada en la adquisición de información de por medios de detección remota.

La cuantificación directa comprende el uso de información estadística de entrada de materiales para determinar las adiciones y sustracciones (salidas) graduales del stock inventariado a lo largo del periodo de evaluación. Da prioridad al ciclo de vida de los flujos y existencias de materiales a lo largo del tiempo y posibilita el rastreo de material desde su ingreso a la economía hasta la salida de esta (Tanikawa et al., 2015).

La cuantificación indirecta o “Modelo Impulsado por Demanda”, utiliza indicadores socioeconómicos, como población, tamaño de la economía, crecimiento económico, ingresos per cápita etc. para modelar la demanda de tipos específicos de objetos a lo largo del tiempo y los materiales requeridos para la fabricación o construcción de los mismos (Tanikawa et al., 2015).

La cuantificación por telemetría, utiliza lecturas basadas en satélites para identificar de forma remota los stocks (Treitz, Howarth, & Peng Gong, 1992). Por su naturaleza, esta información es captada por sensores remotos montados en plataformas satelitales o aéreas que proporcionan información georeferenciada en formatos Geo Tiff, Ráster u similares. La información contenida es correlacionada luego con observaciones directas en campo para estimar la cantidad stocks (Hijazi, Ebert, Donaubauer, & Kolbe, 2018). Este método, es en sí, una herramienta para la obtención de información que junto con otras tecnologías facilitan

la obtención de información en campo, sustituyendo o complementado la información estadística que pueda existir.

La tecnología de detección remota ha sido aplicada en la evaluación de daños por desastre desde muchos años atrás (estimo unos 50 años). Numerosos satélites en órbita que están equipados con diversos tipos de sensores remotos para evaluación de características físicas, químicas del suelo y aire, y estas se complementan con el uso de vehículos aéreos tripulados y no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés) (Fan et al., 2017).

La cuantificación por teledetección utiliza diversas metodologías, entre las que algunas de las principales son: la identificación de objetos mediante firmas espectrales visibles e infrarrojas, utilización de métodos de aprendizaje automático de clasificación de imágenes en el espectro de luz visible, proceso de imágenes de radar de apertura sintética de ultrabanda ancha (SAR), sistemas de laser de alta densidad (LIDAR) entre otras, las que serán materia de mayor explicación.

2.7 Clasificación de Tipos de Stocks y Métodos de Conteo

Para el presente trabajo de investigación se utilizará la clasificación de tipos de stocks propuesta y que se muestra en la figura 2.1.

Alcance				TIPO DE STOCK					Tipo de Conteo	Tipo de Información	
Local	Regional	Nacional	Global	Stocks Naturales (SN)	Stocks Antrópicos (SA)					Ascendente (A)	Directa (D) (Estadística, campo)
					Ecosistema Artificial (EA)	Edificaciones (E)			Bienes de Consumo (BC)		
				Infraestructura (I)		Residencial (R)	No Residencial				
				Urbanos (U) o Rurales (R)					Públicos, Privados, Comunal, Mixto		
Periodo específico de Tiempo o Series Temporales											

Figura 2.1: Matriz de Clasificación Integrada de Stocks por sus características y métodos de cuantificación.

2.8 Aplicación a Casos de Estudio

La nueva clasificación propuesta, nos permite mostrar con facilidad los principales atributos y diferencias de los estudios de casos basados en la cuantificación de stock, como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Clasificación de estudios basados en la cuantificación de Stocks Antrópicos según propuesta.

(*) MC: Materiales de construcción, (**) Potencial de calentamiento global, (***) Impacto Ambiental, (****) SE: Servicios ecosistémicos, Carbono en vegetación y suelo, regulación de inundaciones, retención de sedimentos y otros

Referencia	Alcance	Tipo de Stock (detalle)	Urbano / Rural	Series temporales	Tipo de Conteo	Fuente	Tipo de Salida	Tipo de Estudio
(Cao et al., 2018)	Regional Beijín, China	E	U&R	Si 2020-2100	M	D & I	MC (*)	Análisis probabilístico de futuros Ingresos y Salidas
(Heeren & Hellweg, 2018)	Nacional Suiza	R	U	Si 2015-2055	M	D & I	MC y CO ₂ (**)	Proyección de evolución de la huella de carbono
(Ioppolo, Cucurachi, Salomone, Shi, & Yigitcanlar, 2018)	Global	SN & SA	U&R	No	M	D & I	MC e IA (***)	Metodológico Inventario e impacto ambiental
(Mesta et al., 2018)	Regional Chiclayo, Perú	R	U	No 2014	A	D	MC	Inventario
(Nguyen, Fishman, Miatto, & Tanikawa, 2018)	Nacional: Vietnam	I	U&R	Si 2003-2013	D	I	MC	Proyección de crecimiento de stocks urbanos

(Stephan & Athanassiadis, 2018)	Nacional: Melbourne, Australia	R	U	Si 2018-2030	A	D	MC	Proyección de reposición para economía circular
(Wang, Chen, Ma, Cheng, & Chang, 2018)	Regional Taipéi, China	E	U	Si 2004-2013	D	D & I	MC	Evolución de Inventario
(Huisman et al., 2017)	Nacional EEUU	BC	U&R	No 2015	D	I	Minerales	Cuantificación de minerales
(García-Torres et al., 2017)	Regional: Tacna, Perú	R	U	No 2014	A	D	Escombros MC	Gestión de Riesgo
(Fan et al., 2017)	Regional: Ludían, China	SN&SA	U&R	No 2014	D	D & T	MC	Gestión de Riesgo
(Kleemann, Lehner, Szczypińska, Lederer, & Fellner, 2017)	Regional: Viena, Austria	E	U	No 2013-2014	D	D & T	MC	Cuantificación de Residuos
(Mastrucci, Marvuglia, Leopold, & Benetto, 2017)	Global	ER	U	No	D	D	IA	Gestión Ambiental
(Miatto, Schandl, & Tanikawa, 2017)	Multi Regional Nagoya, Wakayama: Japón y Stanford: UK	R	U	Si 1950-2000	D	D & I	Vida útil e incertidumbre	Análisis de incertidumbre en el cálculo de la vida útil de edificaciones

(Santa Cruz, 2017)	Nacional: Perú	NR	U	No 2016	A	D	Pérdidas Económicas	Análisis de riesgo de Escuelas Públicas
(Fishman, 2016)	Nacional: Japón y EEUU	E	U&R	Si, 1930-2050	D	I	MC	Tendencias de acumulación stocks
(Marcellus-Zamora, Gallagher, Spatari, & Tanikawa, 2016)	Regional: Filadelfia, EEUU	E	U	Si, 2004-2012	A	T	MC	Desarrollo de nuevo enfoque utilizando heurísticas de uso de la tierra
(Österbring, 2016)	Regional: Gotemburgo Suecia	ER	U	No 2015	A	D	Energía	Rendimiento energético del potencial de renovación de los edificios existentes
(Stephan & Athanasias, 2017)	Regional: Melbourne, Australia	E	U	Si 2015-2100	A	D	MC y CO ₂	Carga ambiental contenida en stocks urbanos
(Zank et al., 2016)	Local: Puget Sound, Washington, EEUU	SN&SA	U&R	Si 2000-2060	D	D&T	SE (****)	Balance de servicios Ecosistémicos
(Ortlepp & Deilmann, 2015)	Nacional: Alemania	NR	R	No	A	D	MC	Inventario

(Reyna & Chester, 2015)	Regional: Los Ángeles County, EEUU	R	U	Si 1950-1990	A	D	MC y CO ₂	Cambios de stocks, tiempo de residencia, e impactos ambientales asociados
(Tanikawa et al., 2015)	Nacional: Japón	E	U&R	Si 1940-2010	M	D, I & T	MC	Acumulación end el tiempo
(Guo et al., 2014)	Regional: Beijing, China	I	U	No 2012	A	D&T	MC	Metabolismo urbano del sistema de vías
(Tanikawa et al., 2014)	Regional: Aomori, Iwate, Miyagi, Fukushima e Ibaraki, Japón	E	U&R	No 2011	A	D	Escombros MC	Acumulación en el tiempo
(Hirayama et al., 2010)	Regional: Tokio Japón	E	U	No	A	D	Metodológico, MC	Escombros: Terremotos e inundaciones
(Jaiswal & Wald, 2008)	Global	E	U&R	No 2007	D	I	Afectados	Análisis de Riesgo

2.9 Stocks Antrópicos Perdidos por Inundaciones

Los residuos causados por las inundaciones pueden ser, tanto o más voluminosos que los generados por terremotos. Estos incluyen los escombros del colapso de edificaciones (Hirayama et al., 2010), así como de bienes muebles contenidos en ellas y los sedimentos acarreados por los flujos de agua entre otros. Como ejemplo, los residuos sólidos generados en el estado de Luisiana por el huracán Katrina del 2005, se estimaron en 51,2 millones de metros cúbicos, esto es: 4.6 t/hogar a partir del daño por inundación por encima del nivel del piso y en 0.62 t/hogar por daños por inundación por debajo del nivel del piso (May et al., 2006), esto es 1,34 veces los escombros causados por el Gran Terremoto Hanshin-Awaji (Kobe, 1995), en Japón en el (Hirayama et al., 2010).

La gestión de riesgos de desastres por inundaciones, utiliza la estimación de los escombros de que se pueden generar por el desencadenamiento de un peligro para predecir el costo de reposición (en términos económicos y ambientales), y programar adecuadamente su disposición final. Idealmente, la gestión sostenible de un desastre, tendrá como estrategia el reciclaje una parte de los residuos/escombros generados, de esta manera, se podrá reforzar la resiliencia de las comunidades expuestas a riesgos de inundaciones. Para ello, es indispensable la recopilación de datos y las actividades de modelado de inundaciones (Meesuk, Vojinovic, & Mynett, 2017)

Con el fin de estimar la cantidad de desechos de desastres, basados en inventarios de daños, se debe considerar la generación por unidad de daño a la construcción, basado en encuestas a los gobiernos locales, sobre la generación de desechos de desastres en las regiones afectadas y realizar un análisis de regresión múltiple para estimar la generación por unidad de restos de desastre por inundación.

2.10 Inundaciones y Cambio Climático

Las inundaciones contribuyeron con aproximadamente el 40% de los desastres naturales en todo el mundo y causaron daños por USD 397.3 mil millones entre el 2000 y 2014 (EM-DAT, 2015). La comunidad científica, predijo en el pasado, que se intensificarían las inundaciones y las sequías (Hirabayashi, Kanae, Emori, Oki, & Kimoto, 2008) como producto del incremento la magnitud y frecuencia de los eventos de precipitación extrema en el contexto del cambio climático (Gosling et al., 2011).

El bienestar humano enfrenta crecientes riesgos a nivel mundial debido al cambio climático. Durante el año 2017, inundaciones inesperadas afectaron el sur de Texas (Huracán Harvey) (Blake & Zelinsky, 2018) y grandes áreas del sur de Asia, así como la costa norte y central del Perú. Estos eventos, son algunos de los 11,000 fenómenos meteorológicos extremos, que durante los últimos 22 años fueron responsables de la muerte de 530,000 personas (Kreft, Eckstein, & Melchior, 2017).

El sistema climático del planeta, es altamente dependiente de El Niño Oscilación Sur (ENSO) (Tsonis, 2009), y sus patrones se muestran en el aumento de la intensidad y la frecuencia de inundaciones, sequías, huracanes y tornados en todo el mundo (Hore, Kelman, Mercer, & Gaillard, 2019; Ward et al., 2014). Las anomalías meteorológicas extremas, en apariencia, podrían ser vinculables directamente al calentamiento global, sin embargo, correlacionar ambos conceptos es una tarea compleja. La baja frecuencia con que ocurren los fenómenos meteorológicos extremos, los hace difíciles de evaluar, principalmente, por la carencia de registros fiables de siglos pasados. A pesar del hecho de un aumento continuo de la evidencia de la exacerbación del clima por el calentamiento global, es de esperar que los especialistas en el cambio climático consideren en el futuro, cuantificar la incertidumbre relativa al nivel de la contribución antrópica en sus trabajos a futuro (B. Field, R. Barros, Jon Dokken, J. Mach, & D. Mastrandrea, 2014).

El pronóstico del clima es extremadamente complejo y se basa en modelos matemáticos sofisticados para formular posibles escenarios climáticos regionales. Una tarea aún más compleja es la evaluación global del clima que desencadena fenómenos meteorológicos extremos. En estos casos, los científicos del clima recurren a otras fuentes de información que incluyen registros históricos escritos, técnicas de datación de los sedimentos extraídos de fondos de lagos, entre otras diferentes tecnologías de datación paleoclimática. Estas metodologías han permitido establecer que la temperatura promedio en el mundo es entre 0,6 y 0,7 ° C más alta que hace 30 años (Masson-delmotte, 2017). Por lo que la evidencia científica apunta a las emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero como los principales responsables del cambio climático.

La confluencia compleja de las diversas variables involucradas en predicción del clima, y la carencia de información estadística precisa en relación a los eventos ECEs en el pasado hace que el modelado del comportamiento del clima en el futuro, sea una tarea compleja.

Por lo expuesto, a la fecha sabemos que los ECEs volverán a ocurrir, aunque no sabemos cuándo y con qué intensidad lo harán. El difícil pronóstico del intervalo de recurrencia de los fenómenos meteorológicos extremos, obliga a los responsables políticos a reducirse a lo esencial: reducir el riesgo de daños futuros, en particular, para la población más vulnerable, esto exige trabajar sobre la naturaleza de la exposición al riesgo.

2.11 Gestión del Riesgo por Inundación en el Contexto del Cambio Climático

Comprender las capacidades de nuestra nación para enfrentar desastres naturales, requiere aprender lecciones de otros desastres en el pasado, tanto locales como foráneos. Este es el caso de las inundaciones sin precedentes desatadas por el Huracán Harvey, que azotó la ciudad de Houston en el 2017. Esta fue clasificada como la tercera inundación con periodo de retorno de 500 años en las últimas décadas en Estados Unidos, y primer huracán de categoría 4 (U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, 2017) desde que Katrina devastó Nueva Orleans en el 2005 (Blake & Zelinsky, 2018), 70 personas fallecieron y las pérdidas superaron 30 mil millones de

dólares (Jonkman, Godfroy, Sebastian, & Kolen, 2018). Sin embargo, este es un número reducido de muertes, en comparación con el huracán Katrina, que produjo 1000 fallecidos y pérdidas económicas estimadas en más de \$ 120 mil millones (May et al., 2006). Aprender de los desastres ocurridos plantea la necesidad de poder compararlos, lo que es una tarea compleja, por el diferente valor del dinero en el tiempo, el nivel de desarrollo de cada región y por la diversidad de afectaciones sociales, por lo que es difícil adoptar parámetros de medición de daños que permitan comparar un desastre con otro, ya sea para poder evaluar la medida en que un desastre puede ser atribuido al cambio climático y no a deficiencias en la gestión del riesgo de cada región, o para evaluar la eficiencia en la gestión de riesgo.

2.12 Eventos Climáticos Extremos

Los eventos meteorológicos abarcan una amplia gama de sucesos relacionados con el clima y están comprendidos en ellos las heladas y nevadas, las olas de calor, las ventiscas y tornados, los huracanes y monzones en el hemisferio norte, las sequías, lluvias torrenciales y tormentas eléctricas entre muchos otros. La mayoría de estos eventos constituyen una amenaza permanente a la integridad física de las personas y al desarrollo económico de las naciones.

Son estos eventos uno de los principales responsables de desastres de origen natural en el mundo, en particular cuando la frecuencia e intensidad con que se presentan superan los valores registrados históricamente y adquieren la categoría de extremos. En el Perú, son las lluvias anualmente recurrentes en muchas zonas del país una de las principales responsables de daños, en particular aquellas relacionadas con episodios vinculados a fenómenos de “El Niño”, en los cuales la intensidad de las lluvias alcanza valores extremos. El área afectada abarca a parte importante del territorio nacional afectando principalmente a la costa norte del Perú (Tumbes, Piura y Lambayeque) y la magnitud de los daños compromete el desarrollo económico del país, adquiriendo la connotación de desastre.

2.13 El Fenómeno de El Niño

El fenómeno de El Niño, es el calentamiento anormal de la temperatura superficial del mar frente a la costa peruana, usualmente de forma vinculada a anomalías térmicas en la zona de convergencia intertropical (ZCIT) ubicada en el Pacífico ecuatorial. Esta anomalía actualmente conocida como El Niño Oscilación del Sur (ENOS) altera los patrones climáticos a nivel global y es evaluado por la comunidad científica internacional en 4 sectores (ver figura 2.2) mediante el monitoreo de la temperatura superficial y sub superficial del mar y diversos indicadores meteorológicos e hidrológicos, con la finalidad de explicar y/o predecir la magnitud del evento: (SENAMHI, 2014); (Lavado, Silvestre, & Obando, 2009); (Hernández-Vásquez et al., 2016);

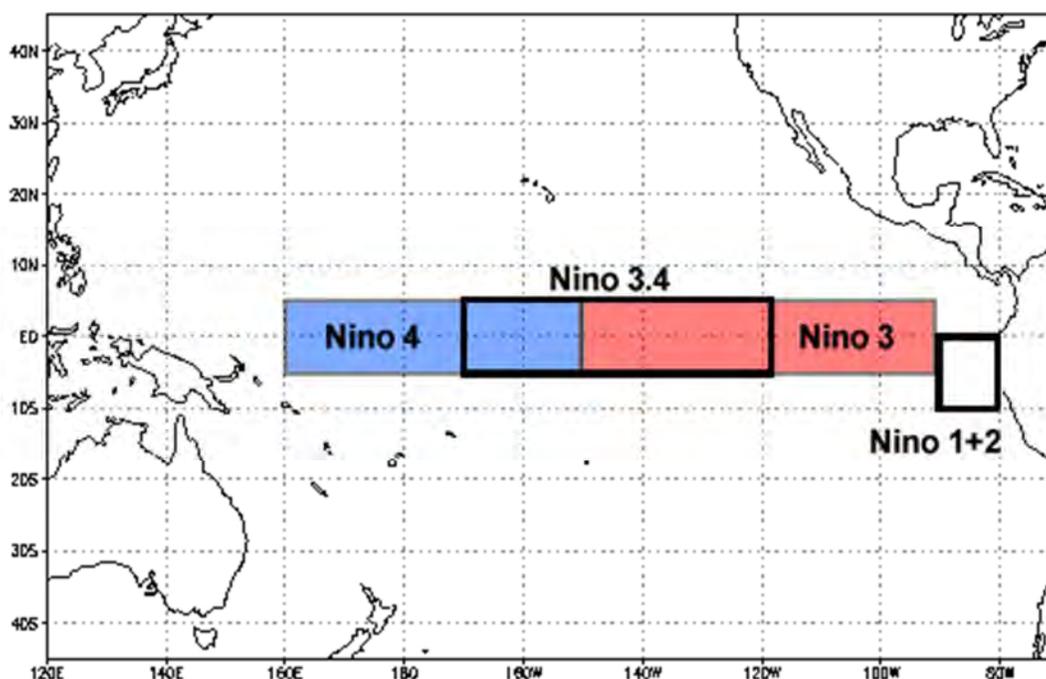


Figura 2.2: Zonas de monitoreo de ENSO, (Fuente: NOAA).

La magnitud y frecuencia del fenómeno de El Niño es de particular interés para el Perú, porque este fenómeno está asociado a eventos de lluvias extremas que afectan periódicamente la costa peruana, particularmente a la costa norte, y que en algunos casos pueden generar desastres de gran magnitud, como los ocurridos en el pasado. La responsabilidad del monitoreo de este fenómeno en el Perú recae sobre la Comisión Multisectorial Encargada Del Estudio Nacional Del Fenómeno “EL NIÑO”: ENFEN (ENFEN, 2017) (Ortlieb & Macharé, 1993).

En el Perú, el FEN ha sido responsable de inundaciones catastróficas en 1925, 1982-1983, 1997-1998 (CENEPRED, 2012a) y recientemente en el 2017 al que se denominó Niño Costero por la particular focalización de sus efectos en la costa peruana (Zona 1 y 2). Las inundaciones ocasionadas por el denominado niño Costero de Marzo del 2017, superaron todas las previsiones, esa vez las afectaciones fueron mayores que las previstas, afectando a centros urbanos de ciudades como Piura, Trujillo y Huarmey e incomunicando a Chiclayo.

2.13.1 Modos de El Niño

Existen diferentes tipos de El Niño, que se diferencian entre sí por la interrelación de sus efectos a escala global y por sus efectos en Sur America. Se han definido modos de El Niño como Canónico, caracterizado por el calentamiento inicial del mar en la costa peruana durante el otoño y su extensión hacia la ZCIT que alcanza un máximo calentamiento; El Niño “Modoki” que se caracteriza por una desconexión entre el calentamiento del Pacífico Central y efectos típicos de El Niño canónico en diferentes zonas del planeta (Ashok et al., 2007); (Takahashi et al., 2011); (Sulca, Takahashi, Espinoza, Vuille, & Lavado-Casimiro, 2018);

recientemente debido al evento del 2017, se considera como un modo adicional denominado Niño Costero.

2.13.2 Frecuencia en Intensidad del Fenómeno de El Niño

El Perú cuenta con registros de estaciones meteorológicas e hidrológicas sostenidas, desde 1965. Para obtener información relativa a eventos anteriores, se deben consultar diversos registros escritos, como los boletines emitidos por la Sociedad Geográfica de Lima, los reportes Antonio Raimondi relativos al estudio del clima y el océano de nuestro litoral, y el artículo “Las lluvias de Piura” de Víctor Eguiguren. Durante el siglo XX se han registrado 26 episodios El Niño, los más fuertes fueron en 1891 y 1925, 1982/83, 1997/98 (SENAMHI, 2014) y 2017.

La sedimentología y la paleontología indican que el fenómeno de El Niño se remonta desde hace más 40,000 años como mínimo, esté fue conocido por las culturas Pre-Incas: Moche (200 – 700 d.C.), Lima (400 d.C.) y los Nazca (100-600 d.C.). (Ortlieb & Macharé, 1993).

Los episodios del fenómeno de El Niño a lo largo de la costa peruana, han sido documentados por diversas fuentes. Los registros de cronistas que acompañaron a Pizarro durante la conquista del Perú a inicios de los siglos 16, serían los primeros escritos que describen los efectos de El Niño en el país (Quinn, Neal, & Antunez de Mayolo, 1987) y documentan lluvias catastróficas y avenidas en ríos de la costa, particularmente en el norte, que desbordan e inundan su entorno. Los registros recopilados por Quinn & Neal (1987) de cronistas de inicios del siglo XVI muestran 42 eventos climáticos que podrían relacionarse con El Niño, estos fueron validados y reinterpretados en su mayoría por (Hocquenghem & Ortlieb, 1992) que observó algunos de los registros originales, por considerarlos no necesariamente prueba de eventos del El Niño en el pasado. Son 37, los episodios de El Niño de intensidad fuerte y muy fuerte, que este estudio recoge como confiablemente documentados entre los siglos 16 y 19.

No existen registros fiables y continuos de fechas anteriores al siglo XVI, la estimación de intensidades de eventos anteriores carece de la precisión cronológica y están basados en series de tiempo elaboradas por diferentes metodologías. Los registros continuos de mayor resolución se obtuvieron por datos glaciológicos (últimos 1500 años) de la capa de hielo Quelccaya, glacial del sur de Perú y de los de núcleos de coral de Las Islas Galápagos (Ortlieb & Macharé, 1993).

2.13.3 Series de Tiempo

Debido a la compleja interrelación entre los efectos globales de el Niño y su interrelación con las lluvias torrenciales en las costas del Perú, resulta de poco valor práctico estimar los periodos de retorno de eventos de inundaciones catastróficas en función de series de tiempo obtenidas en zonas remotas, por lo que, para los efectos de esta investigación, se limitarán a los registros escritos desde el siglo XVI, y cuyos eventos de fuerte a gran intensidad se muestran en la figura 2.3.

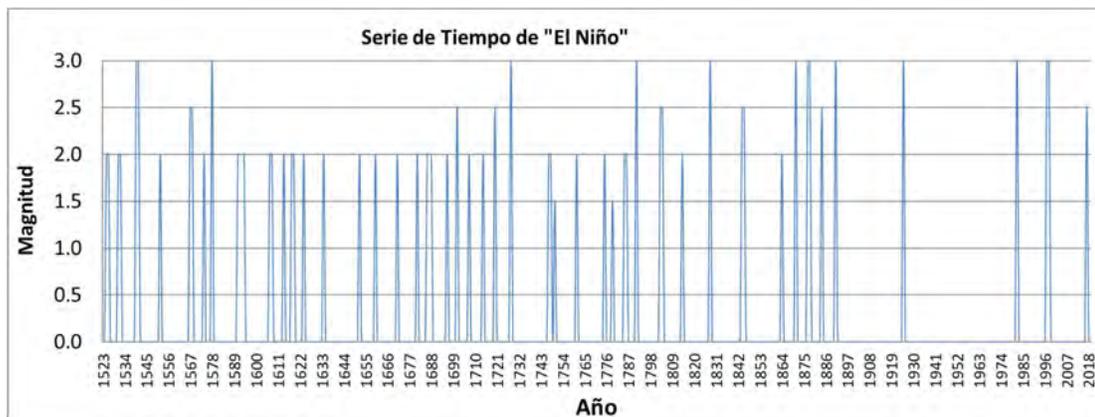


Figura 2.3: Serie de tiempo de fenómenos de El Niño fuertes y extraordinarios (Fuente: adaptación propia, basada en publicaciones de Quinn y colegas en 1987 y Hocquenghem & Ortlieb en 1992).

2.13.4 Daños en Perú

Los desastres naturales en el Perú, son frecuentes y costosos. Entre el 2003 y finales del 2018, se registraron en el Perú 73,506 emergencias por desastres, con un saldo total de 3,197 víctimas mortales, 10,779 heridos, 17'473,891 de personas afectadas, 1'493,244 viviendas afectadas, 281,981 viviendas destruidas y más de 1 millón de hectáreas de cultivo pérdidas (INDECI-SIPAD, 2018).

En los últimos quince años, El 31% de ellos es atribuido directamente a ECEs como son lluvias, huaycos e inundaciones, los ECE han sido responsables del 80% de las afectaciones a viviendas y del 37% de la destrucción ellas. Los ECEs han causado, en el periodo de análisis más fallecidos que los sismos y el doble de damnificados como se muestra en figura 2.4.

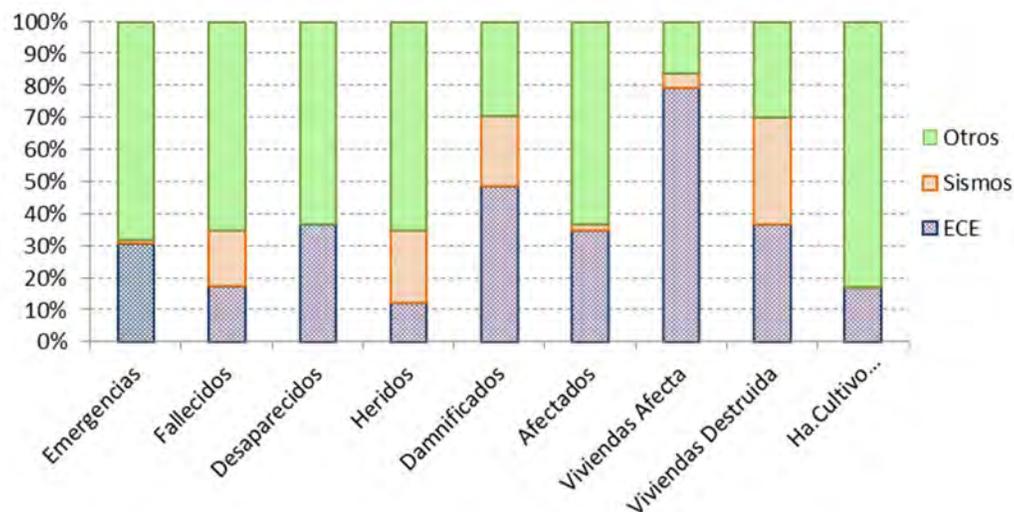


Figura 2.4: Emergencia y daños relacionados con ECE vinculados a exceso de precipitaciones en Perú en relación a otros eventos (p. ej., sequías, derrumbes, incendios, etc.) entre el 01/01/2003 al 10/09/2018.

2.14 Gestión de Riesgos por Desastres en Perú

La definición de desastre del marco legal vigente es:

“Conjunto de daños y pérdidas, en la salud, fuentes de sustento, hábitat físico, infraestructura, actividad económica y medio ambiente, que ocurre a consecuencia del impacto de un peligro o amenaza cuya intensidad genera graves alteraciones en el funcionamiento de las unidades sociales, sobrepasando la capacidad de respuesta local para atender eficazmente sus consecuencias, pudiendo ser de origen natural o inducido por la acción humana” (Artículo 2.6, D.S. N° 048-2011-PCM, 2011).

Asimismo, el riesgo de desastres, es la probabilidad de que la población sufra pérdidas, las que pueden ser directas o indirectas y adoptar dimensiones sociales, económicas o ambientales, el nivel del riesgo estará en función de la vulnerabilidad y de la intensidad del impacto de un peligro (CENEPRED, 2014a) y su unidad de medida estará referida en términos de vidas humanas, en términos monetarios como consecuencia del daño a la infraestructura pública o privada, o en términos relativos al retraso del desarrollo económico del país (% de crecimiento del PBI).

2.14.1 Riesgo de Desastres por Peligros Naturales en Perú

El Perú es el segundo país con más afectados por desastres naturales en Sudamérica (ONU, 2014). Su ubicación en el occidente del continente sudamericano expone al país a riesgos sísmicos, al fenómeno de El Niño y a condiciones climáticas extremas como heladas, sequías, vientos entre otros. El clima en el Perú se atribuye a la presencia de la cadena montañosa de los Andes, que divide al país longitudinalmente, separando sus costas áridas de clima templado por la fría corriente del Humboldt del pacífico sur y la lluviosa selva amazónica en el lado oriental.

El Perú, después de Bangladesh y Honduras, es el tercer país más vulnerables a los impactos del cambio climático, según El Centro Tyndall de Inglaterra, institución dedicada a la Investigación del Cambio Climático, (Agnew, Eriksen M. 2004). La exposición a los peligros y la vulnerabilidad física, social y ambiental a los desastres naturales en el territorio nacional, genera alto riesgo y compromete el desarrollo nacional. Las pérdidas generadas por desastres, son limitantes del desarrollo humano, se está incrementando en la mayoría de regiones (ONU, 2014).

El cambio climático genera el incremento de la magnitud y frecuencia de precipitaciones extremas, aumenta la frecuencia y gravedad de las inundaciones y sequías a nivel global y exacerba los desastres naturales en las regiones más expuestas como el Perú (ONU 2014; Schulz & Bernhardt, 1996; Gosling et al., 2011). Los daños ocasionados directa o indirectamente por eventos de lluvias extremas como huaycos e inundaciones, afectan 5 veces más a las viviendas y han ocasionado similar número de damnificados y víctimas fatales en comparación con los sismos a nivel nacional en el mismo periodo.

Esta proporción de daños en relación a los sismos se mantiene desde 1971 y no de antes, ya que en 1970 ocurrió en Ancash, uno de los terremotos más dañinos en la historia del Perú. El terremoto de Ancash de 1970, destruyó parte de la ciudad de Huaraz y ocasiono el aluvión que sepulto las ciudades de Yungay y Ranrahirca. El saldo fue superior a las 18,000 víctimas fatales como registraron los diarios de la época, algunos de los cuales estimaron el número de víctimas totales entre 40,000 y 80,000:

“Avalancha de hielo arrastró árboles viviendas animales toneladas de hielo y barro cubrieron Yungay (30 minutos después de sismo); Un alud bajó hacia quebrada Llanganuco rebasando las quebradas de Pumahuain, Akarank, Armapampa, Incayoc, Cajanrhuay hasta caer con enorme violencia en lo que era Yanama Chico aquí rebotó en el valle y se montó en el cerro Aira unos 250mts precipitándose sobre Yungay: grandes masas de hielo (20 millones de m³) se desprendieron de pico norte de nevado Huascarán (glaciar 511) como consecuencia del sismo, cayendo a la laguna Llanganuco y desbordando sus aguas/ Acta: UNESCO Min. de Vivienda Corporación Peruana del Santa IGP. / G: en el cementerio se salvaron 92 personas y en una lomita 200 personas.”
Extracto de reporte del diario El Comercio del 1ro del junio de 1970, consignado en base de datos de desastres, (DESINVENTAR, 2018).

Fue este evento el que motivo la creación en el Perú del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) en 1972, creado con visión únicamente reactiva con la exclusiva finalidad de atender las emergencias ocasionadas por desastres como el relatado.

En relación a la distribución mensual de todo tipo de emergencias a nivel nacional ocurridas desde 1970, en base a la consolidación de los registros de las bases de datos de DESINVENTAR y SINPAD-INDECI, se aprecia en la figura 2.5 que los daños son mayores en los meses de enero, febrero y marzo fechas que concuerdan con la época de avenida de los ríos en la costa, y de lluvias en la zona andina.

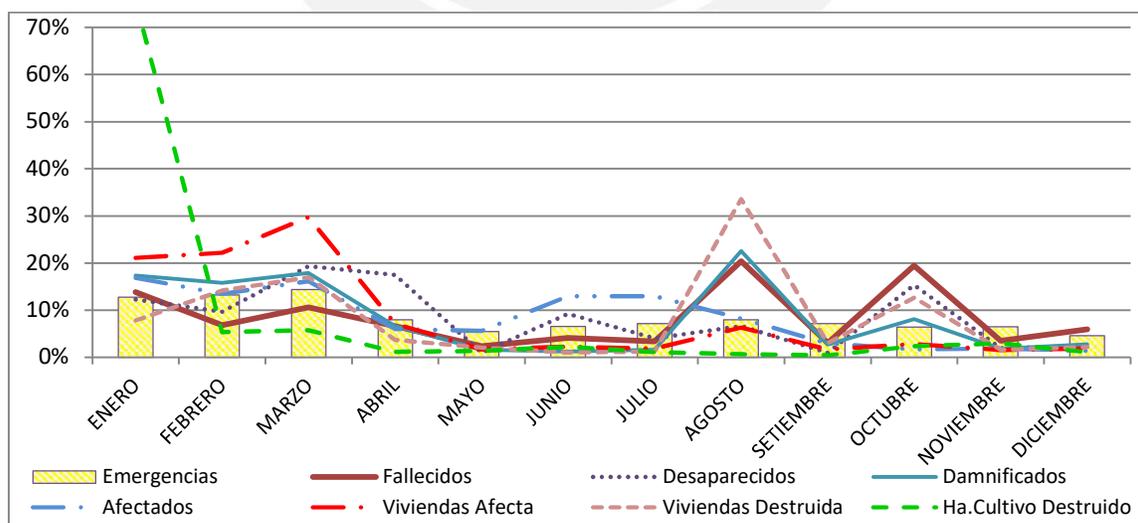


Figura 2.5: Porcentaje de daños mensuales totales por emergencias en Perú entre 1971 y el 2018 (Fuente: adaptado de bases de datos SINPAD-INDECI y DESINVENTAR).

2.14.2 Riesgo de Desastres por Peligros Naturales en Piura

En Relación a los daños en Piura relativos a ECE, estos terminan siendo relevantes a nivel nacional, toda vez que Piura cuenta con 1'844,000 hab. que representan el 5.9 % de la población peruana, sin embargo, los desastres en esta región, generan el 15% de las viviendas afectadas y el 10% de las viviendas destruidas y damnificados a nivel nacional, como se muestra en la tabla 2.3 y figura 2.6.

Tabla 2.3: Relación entre daños por ECE-LLE en Piura y Perú. Daños mensuales normalizados al 100%, por emergencias en Perú del 2003 y el 2018, (Fuente: Elaboración propia basada en base de datos SINPAD, INDECI 2018).

	Emergencias	Fallecidos	Desaparecidos	Heridos	Damnificados	Afectados	Viviendas Afecta	Viviendas Destruida	Ha.Cultivo Destruido
Todo Perú									
Lluvias	17,190	325	102	699	449,213	3,724,304	735,287	64,108	61,155
Huaycos	1,465	118	22	411	42,561	414,635	32,965	5,193	4,293
Inundaciones	3,924	118	32	189	521,070	1,952,598	421,441	33,837	122,633
	22,579	561	156	1,299	1,012,844	6,091,537	1,189,693	103,138	188,081
PIURA									
Lluvias	976	38	4	62	106,186	787,297	172,284	14,995	11,814
Huaycos				1	36	105	21	7	
Inundaciones	93	-	-	11	45,949	78,109	21,520	7,248	25
	1,069	38	4	74	152,171	865,511	193,825	22,250	11,839
PIURA/PERÚ %	3,326	120	11	2,423	173,018	1,660,111	212,891	25,437	42,799
	4.52%	3.75%	2.59%	22.48%	8.29%	9.50%	14.26%	9.02%	3.89%

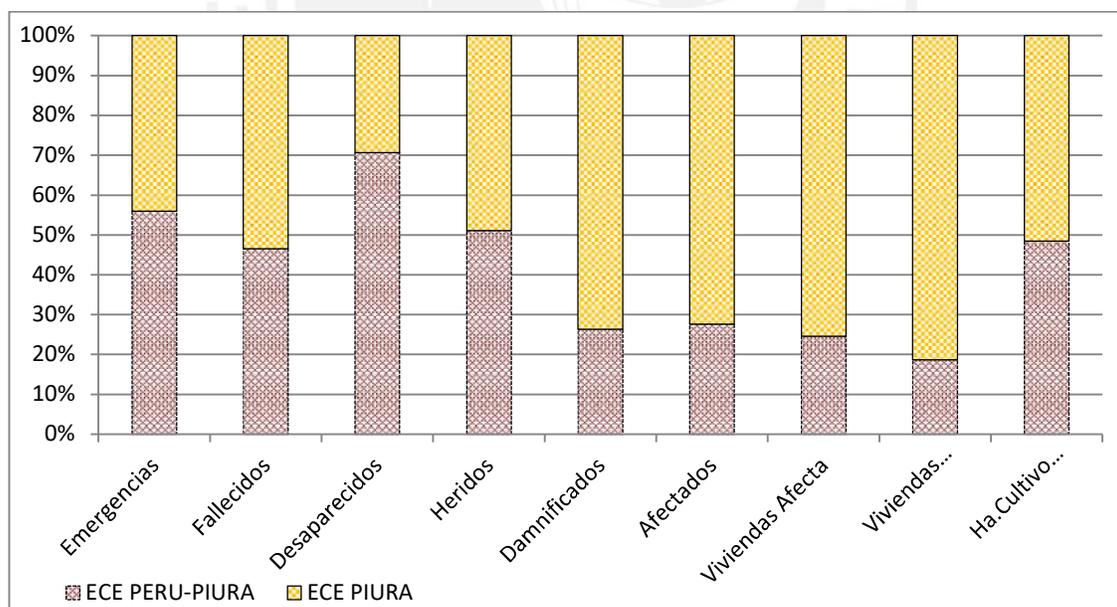


Figura 2.6: Relación entre daños por ECE-LLE en Piura y Perú. Índice de daños mensuales totales por emergencias en Perú entre 2003 y el 2018, (Fuente: INDECI 2018).

El análisis detallado de todos los eventos de naturaleza climática para el departamento de Piura, permite concluir que los ECE son los más perjudiciales para el desarrollo de esta zona del país, como muestra en la figura 5, en ella, se aprecia que las inundaciones representan un pequeño

porcentaje de las emergencias pero son responsables de la mayoría de damnificados, heridos, viviendas y centros de salud destruidos, pero son las lluvias las que más personas, viviendas y centros de salud afectan y más fallecidos causan.

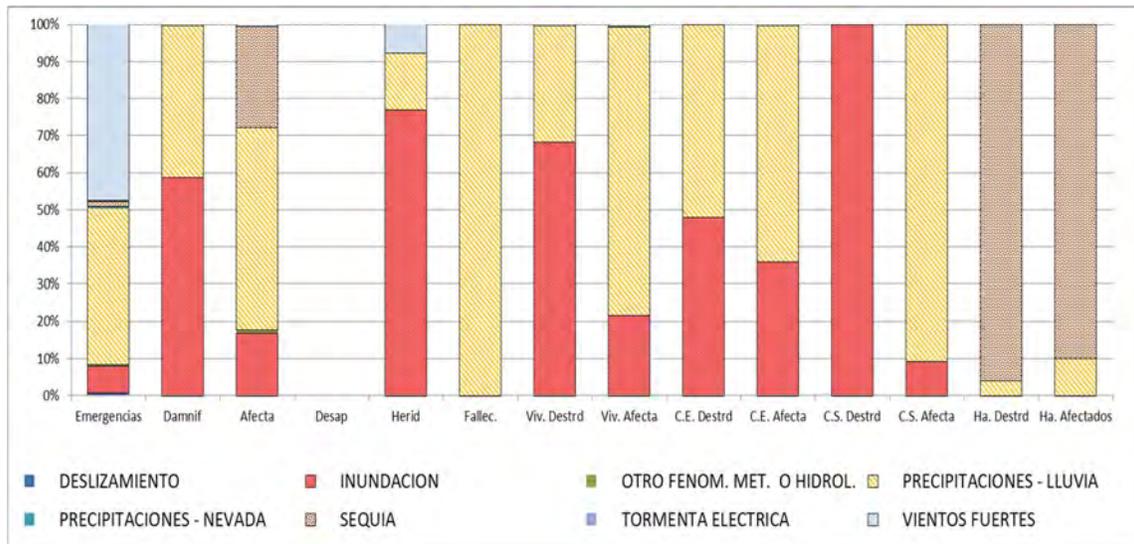


Figura 2.7: Relación entre daños por ECE en Piura entre 2003 y el 2018 (Fuente: INDECI 2018).

En relación a los daños por desastres para cada provincia de Piura, estos se muestran en las figuras 5 (A y B), donde se aprecia que la provincia de Piura, Morropón y Huancabamba son las que más daños sufren en la mayoría de las categorías, sin embargo, al analizar los daños en relación a la población de cada provincia, estas relaciones cambian como muestran la figura 2.8

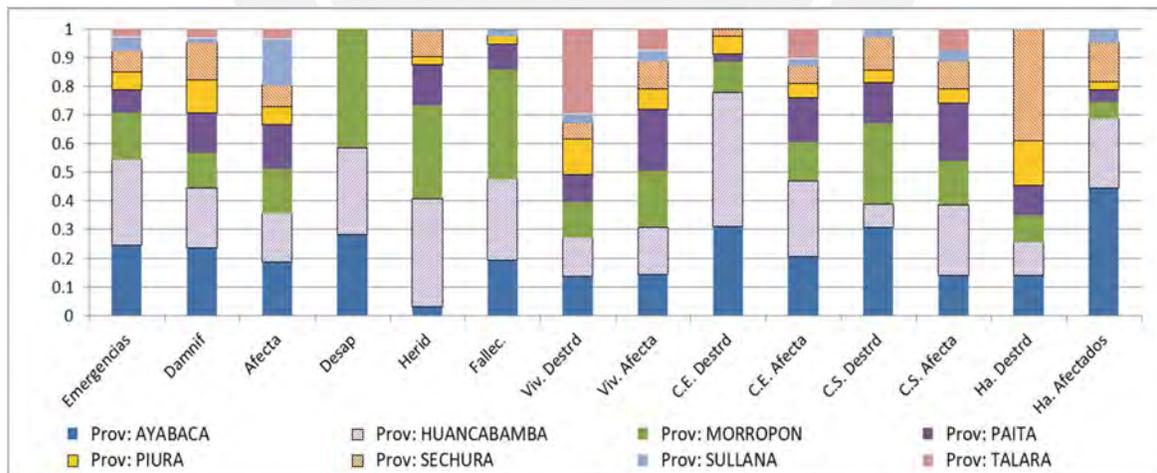


Figura 2.8, Relación de daños per cápita por desastres relacionados con ECE-LLE a nivel Piura provincias, (INDECI 2018).

La evaluación de daños per cápita, permite apreciar que las provincias de Ayabaca, Morropón y Huancabamba son las más afectadas por los desastres de ECE, salvo los casos particulares de hectáreas de cultivo destruidas por sequía per cápita en Sechura y las viviendas destruidas per cápita en Talara.

En relación a los registros hidrometeorológicos en las diferentes estaciones de la provincia de Piura, estos muestran claramente valores extremos concordantes con los diferentes eventos del Fenómeno de El Niño, particularmente en el distrito árido de Sechura donde algunos episodios de lluvia alcanzaron más de 120 mm en 1 día durante el fenómeno de El Niño del 97-98, sin embargo son sucesión consecutiva de picos de lluvias extremas ocurridas en las cuencas medias y altas como lo muestran las estaciones de Chulucanas y Morropón las que generaron caudales pico en la cuenca del río Piura (Palacios-Santa Cruz; 2010) y que sumados a las lluvias extremas sobre la ciudad altamente poblada de Piura generan los desastres durante los episodios del El Niño, como se muestra en la figura 2.9.

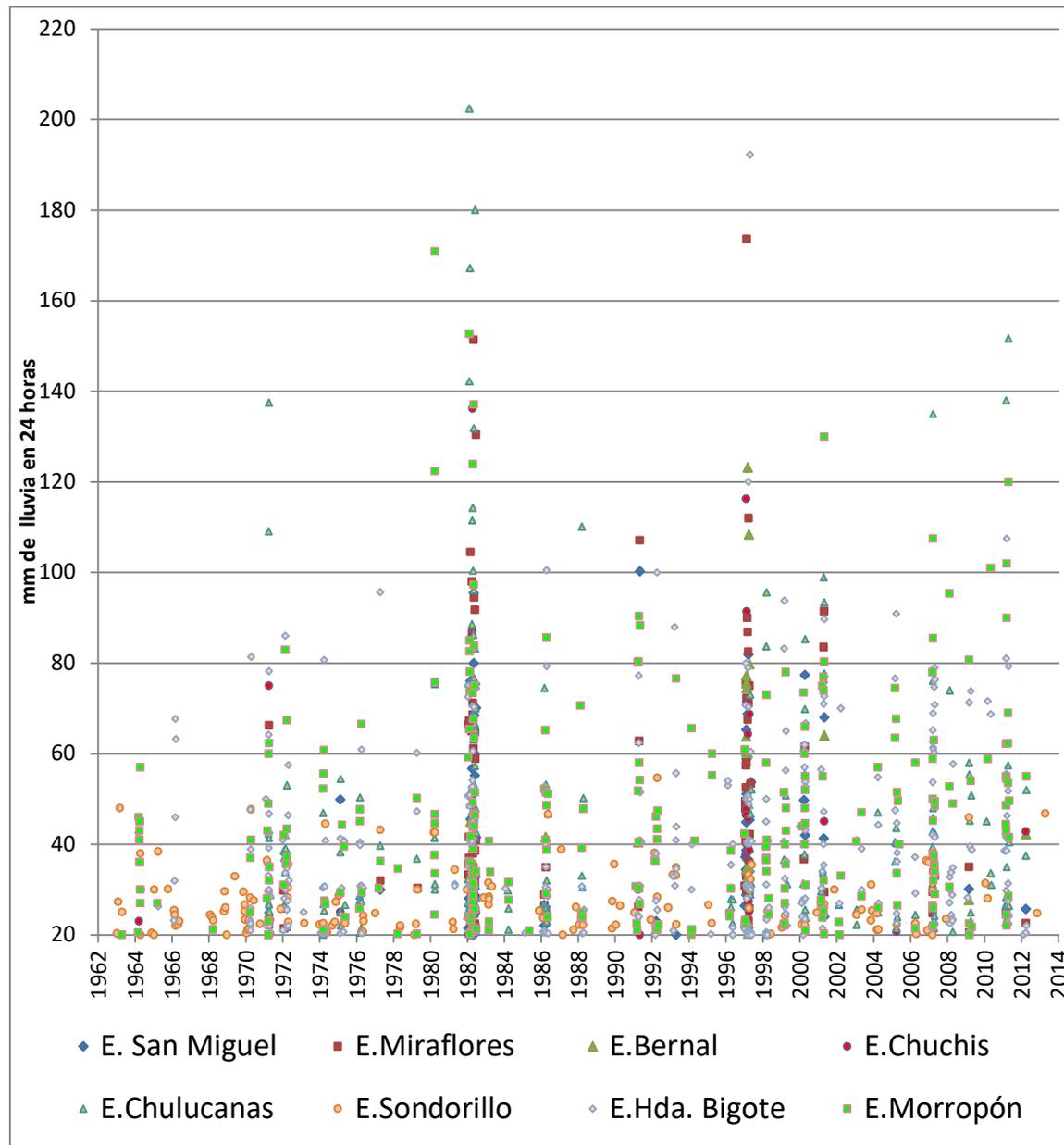


Figura 2.9: Registros pluviométricos de estaciones hidrometeorológicas en la cuenca del río Piura, (Fuente: SENAMHI, 2019).

En conclusión, existe una relación directa entre la intensidad de las precipitaciones en la cuenca del río Piura y los episodios conocidos de los FEN y la magnitud del desastre en el departamento de Piura (figura 2.9), particularmente en la ciudad de Piura que es donde confluyen todos los factores de exposición al peligro de Inundaciones por desborde del río Piura a consecuencia de lluvias extremas generalizadas en toda la cuenca, desastre cuya magnitud es incrementada por las lluvias sobre la misma ciudad.

Así mismo, se puede apreciar del análisis realizado, que la forma en que se desarrollan los desastres en la ciudad de Piura son diferentes para para Niños fuertes que para Niños extraordinarios. En el primer caso los daños son consecuencia directa las lluvias extraordinarias que impactan la población y ocasionan, inundaciones mientras que, en el segundo caso, el desborde generalizado de ríos agrava de forma severa la magnitud del desastre.

De lo expuesto, también se puede concluir que, si bien la magnitud de los desastres se ha incrementado en el presente, este es principalmente atribuible al incremento poblacional y a la mayor exposición actual en las zonas de peligro, particularmente de aquella población de menos recursos y por ende más vulnerable. Es por ello, que toda estrategia recomendada para la gestión del riesgo de desastres, debe comprender la reducción de la vulnerabilidad (United Nations - Department of Economic and Social Affairs, 2013).

En el Perú, es el Sistema Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres (SINAGERD) la institución responsable por el desarrollo de las políticas de gestión del riesgo, las mismas que comprenden estrategias y acciones de mitigación, y cuyo fin es mitigar los daños esperados, así como dar seguridad a la población y su sustento (SINAGERD, 2014).

2.14.3 Marco Legal e Institucional

La legislación peruana considera que el peligro es la probabilidad de que un suceso potencialmente dañino, sea este de origen natural o inducido por el hombre y que se presente en un lugar específico con determinada frecuencia e intensidad, (artículo 2.15, D.S. N° 048-2011-PCM, 2011).

La institucionalización a nivel global de la gestión de riesgos por desastres se inicia durante la década del 90, como resultado de la declaración por la ONU del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (Arboleda, Darío, & Horia, 2002), que aprobó el Marco de Acción del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (1990-1999), por ello, el concepto de desastre como emergencia se transformó como en el de desastre como riesgo mayor gestionable, prevenible y mitigable (Darío & Arboleda, 2008). Posteriormente, con el Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015, suscrito por los países miembros de la ONU, reafirmó el compromiso de los países integrantes, de dar prioridad a la Reducción de los Riesgos de Desastres, y promover, el aumento de la resiliencia en las comunidades ante los desastres, orientando la reducción de la vulnerabilidad de forma sistemática para cada una de las amenazas potenciales y los riesgos asociados. Esta visión integral sobre la Gestión del riesgo de

Desastre, forma parte del Acuerdo Nacional en Perú, en la Política de Estado N° 32 del 2010 (ONU, 2014) y que finalmente da inicio al Sistema Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres, cuya ley y reglamento fueron aprobados en el 2011. En la actualidad, la gestión de riesgos por desastres esta agendada por el marco internacional de SENDAI, para la reducción de riesgos por desastres (2015-2030), aprobado en la tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas celebrada en el 2015 en Sendai (Japón) y que tiene como principal objetivo el de gestionar el riesgo de desastres en lugar del desastre (UNISDR, 2015).

2.14.4 Sistema Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres (SINAGERD)

El Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), se crea en el 2011 por la Ley N°29664 como un organismo interinstitucional y es reglamentado por el Decreto Supremo N°048-2011-PCM. Esta ley le confirió la rectoría, a la Presidencia del Consejo de Ministros (PCM).

La ley 29664 crea el Consejo Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres (GRD) presidido por el presidente de la Republica, y crea el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo (CENEPRED) para atender las funciones prospectiva y correctiva de la GRD. El CENEPRED es también, la institución responsable de elaborar normas e instrumentos técnicos relativos a los procesos de estimación, prevención, reducción del riesgo y reconstrucción, así como de brindar asistencia técnica a los tres niveles de Gobierno en gestión prospectiva y correctiva del riesgo de desastres. En relación a la acción reactiva señalada por la ley, está permanece en el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), institución que se adscribe al SINAGERD.

El INDECI, fue creado en 1972 como respuesta a la necesidad de atención a los desastres, motivada por el sismo de Ancash de 1970 que devino en el alud que arrasó los pueblos de Ranrahirca y Yungay (Ley N°29664); (D.S. N° 048-2011-PCM, 2011);

Forman parte también del SINAGERD, las entidades públicas y las Fuerzas Armadas, así como los gobiernos regionales y locales, el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN), la Policía Nacional del Perú, las entidades privadas y la sociedad civil (SINAGERD, 2014) y son parte relevante del sistema de prevención de desastres nacional diversas instituciones responsables de procurar la información técnica que fundamenta la clasificación del riesgo en el territorio nacional, como: INGEMMET, IGP, SENAMHI, INDECI, ANA, CONIDA, INEI así como los diferentes niveles de gobierno (Gobiernos locales y regionales), responsables de implementar las estrategias de gestión de prevención (INDECI, 2006; CENEPRED, 2012b; CENEPRED, 2014c; ONU, 2014).

Los objetivos nacionales y acciones estratégicas están descritos en el Plan Nacional de Gestión de Riesgos (PLANAGERD) a efectos de que sean considerados por las Entidades Públicas en la formulación de sus metas e indicadores de desempeño según indica el Decreto Supremo N°034-2014-PCM, que dispone la aprobación del Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres –

PLANAGERD 2014-2021. En la actualidad el marco legal vigente en Perú clasifica los peligros como se muestra en la figura 2.10.

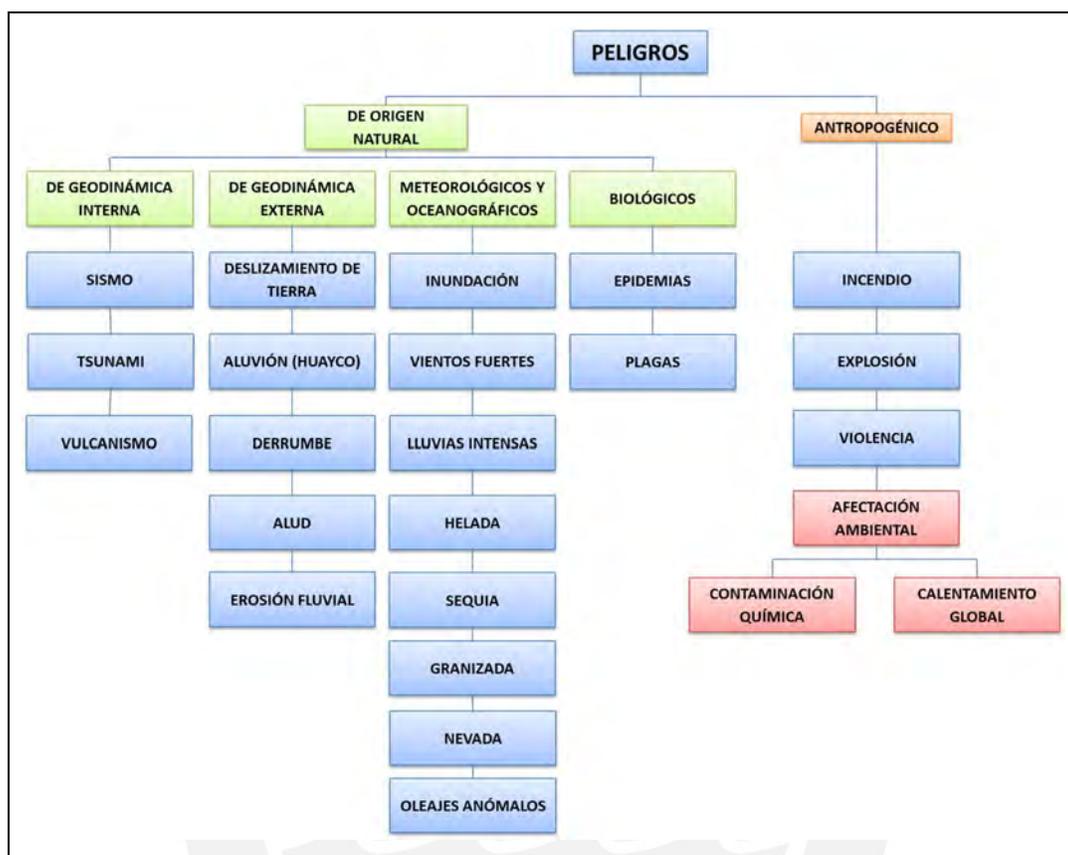


Figura 2.10: Clasificación de peligros, adaptación, (Fuente: INDECI, 2006; CENEPRED, 2014a).

2.15 Riesgo y Vulnerabilidad por Inundaciones

El riesgo es un valor probabilístico, no determinístico, de los daños que puede causar la materialización de un peligro (natural o no), y se expresa en forma simple como:

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad.}$$

La identificación del peligro es clave entonces para el análisis de la vulnerabilidad. No se puede ser vulnerable ante un peligro inexistente, el riesgo estará entonces, principalmente determinado por la vulnerabilidad (Vargas, 2002), y por las condiciones que pueden derivarse de la amenaza potencial: daños personales, a la infraestructura y al medio ambiente (Tobergte & Curtis, 2013). El escenario descrito pone en evidencia la urgente necesidad de nuevos y mejores métodos de evaluación del riesgo por inundaciones.

El riesgo por amenaza de inundaciones tiene desencadenadores conocidos como el clima, la topografía, la geomorfología, las capacidades de drenaje y las estructuras artificiales etc. (Youssef et al., 2011). Se han aplicado diferentes enfoques para describir las posibilidades de

drenaje de los flujos de agua por precipitaciones que puedan generar inundaciones, estos incluyen enfoques geomorfológicos convencionales donde los investigadores se centran en las características geométricas y de relieve de la cuenca (Wicht & Osinska-Skotak, 2016).

La reducción de la vulnerabilidad por inundaciones, debe ser abordada en tres aspectos fundamentales: sociales (relativa a la afectación de los seres humanos), económicos (relativa a la infraestructura dañada), y ambientales (relativa a los impactos ambientales por la reposición de los stocks dañados como son las emisiones de gases de efecto invernadero en los procesos productivos). Este objetivo, exige conocer el estado del arte de la evaluación de la vulnerabilidad urbana frente a las inundaciones, así como identificar las oportunidades de reducir las mismas para crear ciudades sostenibles. En la inundaciones, las áreas urbanas son más vulnerables que las áreas rurales, debido a la concentración de la población y a la impermeabilización de calles por el pavimento y otras áreas cubiertas por edificaciones que aumentan la velocidad de la escorrentía (Banasiak, 2012), lo que ocasiona daños más severos (Wicht & Osinska-Skotak, 2016).

2.15.1 Vulnerabilidad y Sostenibilidad

La Vulnerabilidad es la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades sociales y económicas, ser dañadas por un peligro (Artículo 2.20. D.S. No 048-2011-PCM, 2011). De no realizar mejoras metodológicas para la evaluación del riesgo, teniendo presente los diferentes tipos de vulnerabilidades a efectos de integrar la evaluación de las potenciales pérdidas en vidas humanas, daños materiales y al medio ambiente, poco se podrá hacer para evitar que estas se incrementen en el futuro (SENAMHI, 2014). Por lo que el desarrollo de nuevas y mejores metodologías para analizar el stock de materiales urbanos en zonas amenazadas por inundaciones permitiría lograr un mejor entendimiento del nivel de exposición de la población y el riesgo asociado.

En los últimos años los conceptos de vulnerabilidad y sostenibilidad han sido utilizados alejados de su significado original, como conceptos de moda para decorar y/o resaltar disertaciones de todo tipo. Es usual encontrarse con documentos que usan el concepto de vulnerabilidad como sinónimo de problema y la sostenibilidad como atributo de toda solución inteligente, por lo que a la larga es común entender que resolver problemas es igual que sostenibilizar. La sostenibilidad también es moneda corriente en muchos escritos que degradan el concepto, incluso en la redacción de leyes como la ley general de Recursos Hídricos, donde se menciona 24 veces la palabra sostenibilidad (Parodi, 2016).

Identificar vulnerabilidades exige precisar previamente su significado. La Vulnerabilidad, definida por el Diccionario de la Real Academia Española como “Poder ser herido o recibir lesión, física o moralmente” (RAE, 2020), tiene otras definiciones según la literatura consultada entre las que se resalta la de Arboleda y colegas: “susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza” (2002, p.9)

Aunque la mayoría de las definiciones habla en esencia del mismo concepto, para efectos de la presente discusión académica, se adoptará la definición utilizada por INDECI: “Grado de resistencia y/o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro. Puede ser: física, social, económica, cultural, institucional y otros” (2006a, p3).

De forma similar, definir la sostenibilidad en el contexto del “desarrollo sostenible” puede ser un reto mayor, si nos basamos en la definición de la comisión denominada Brundtland (1987), en el sentido de que, de preservar la cantidad y calidad de los recursos naturales explotados hoy, de cara al bienestar de las generaciones futuras, puede llevarnos a la conclusión de que el camino es sacrificar el bienestar de la generación presente o que la solución es la reducción de la tasa de natalidad, en un extremo del análisis de la definición de sostenibilidad podríamos caer en una paradoja. Para evitar lo descrito, entenderemos la sostenibilidad, para los efectos de la presente discusión académica, como la optimización de la relación entre recursos y beneficios de forma simultánea para el ámbito económico, social y ambiental.

2.15.2 Gestión de Riesgo Sostenible

La Gestión del Riesgo por inundaciones y en general la gestión del riesgo, deberá comprender las tres dimensiones de la sostenibilidad con la finalidad de lograr un equilibrio entre el desarrollo de las zonas urbanas y la protección del medio ambiente, por lo que, abordar el reto de la sostenibilidad urbana, exige reducir a su vez la vulnerabilidad en sus tres dimensiones (Departamento Nacional de Planeación, 2011; Gheorghe, 2012).

Construimos vulnerabilidad por deficiencias de gobernanza y es la gestión del riesgo la clave para reducir la vulnerabilidad y lograr ciudades más sostenibles, pero, para ello debemos atender las diversas vulnerabilidades de una ciudad frente a los riesgos naturales, en particular los riesgos por inundaciones (Darío & Arboleda, 2008; Gracia et al., 2007). Abordar la reducción de vulnerabilidad frente a la amenaza permanente de inundaciones exige cuantificar las diferentes dimensiones del problema: Económica, relativa daños a la economía nacional ocasionados por los gastos en reconstrucción. La dimensión social expresada por la afectación física y/o psicológica de los seres humanos afectados, en particular de las personas de menos recursos que son las que habitualmente se asientan en zonas más expuesta a desastres naturales.

Finalmente, la dimensión ambiental, de un desastre debe ser evaluada, ya que son en las ciudades en donde se concentran los stocks antrópicos pasibles de ser perdidos y cuyo reemplazo anticipado puede desempeñar un papel clave en la lucha contra el Calentamiento Global (WMO, 2018).

2.15.3 Sostenibilidad Urbana y Vulnerabilidad a las Inundaciones

La vulnerabilidad se debe evaluar en función de la amenaza potencial (peligro). El crecimiento poblacional, el desarrollo económico y el cambio climático aumentarán la magnitud del desafío de reducir la vulnerabilidad de las ciudades frente a la amenaza de inundaciones (Huong & Pathirana, 2013). Las ciudades son vulnerables a los riesgos por inundación (cuando este peligro existe) porque su expansión, usualmente informal, se realiza sin una adecuada planificación del uso del suelo. La población de una ciudad en expansión tiende a asentarse en cauces de quebradas tradicionalmente secas, exponiéndose al peligro y, debilitando los servicios ecosistémicos que estas prestan. En este contexto, son las ciudades y por ende sus habitantes los más expuestos al riesgo por inundaciones están, y es la intervención del hombre la que asienta sus ciudades en zonas expuestas al peligro. Son, las ciudades vulnerables, y la reducción de las vulnerabilidades frente al riesgo la forma de crear sostenibilidad, por lo que entonces la mitigación de la vulnerabilidad es también la sostenibilización del riesgo.

Los Stocks Antrópicos, alteran el paisaje y son importantes impulsores de cambios en los servicios ecosistémicos. Estos disminuyen la capacidad del paisaje de proporcionar vegetación y almacenamiento de carbono y afectan la regulación de inundaciones y la acumulación natural de sedimentos (Zank et al., 2016). Asimismo, la urbanización y la deforestación aumentan la escorrentía, producto de la impermeabilización de los suelos (ISRAM, 2014).

Los efectos ambientales acumulados por la transformación de áreas naturales para albergar a los stocks antrópicos en las ciudades, pueden ser muy grandes. Estos han demandado un alto consumo de energía en su proceso de desnaturalización y son responsables de cuantiosas emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con la extracción, el transporte y la fabricación de estos materiales (Allwood et al., 2012). Por ello, en el caso de desastres que generan escombros, el reúso, reciclaje y disposición eficiente de los mismos es clave para la sostenibilidad, por su capacidad de reemplazar el consumo futuro de recursos naturales (García-Torres et al., 2017; Mesta et al., 2018; Reyna & Chester, 2015).

La gestión del riesgo de inundaciones comprende en adicional a la planificación de la gestión de escombros generados, la edificación de ciudades menos vulnerables al riesgo, las mismas que sufrirán menos daños y por ende serán energéticamente más eficientes por requerir de menos reposición de sus stocks por desastres (Fishman, 2016)

El medio ambiente también es vulnerable a los desastres, en particular debido a la afectación de los servicios ecosistémicos que este brinda. En general, resulta importante cuantificar los cambios en los flujos de servicios ecosistémicos, los mismos que, como se ha descrito son no sólo consecuencia de los procesos de urbanización sino también de la afectación de estos por desastres naturales. Diferentes patrones de urbanización y/o reconstrucción conllevan diferencias en la afectación de los servicios ecosistémicos. Una mayor concentración urbana permite más tierras de cultivo y genera menos emisiones de carbono, pero irónicamente proporciona menos regulación de inundaciones, por lo que la densificación urbana concentra a los beneficiarios de la mitigación de las inundaciones y también disminuye la capacidad del

paisaje para proporcionar este servicio. En general, combinar la valoración económica con la modelación de la alteración de los servicios ecosistémicos permite comparar los costos y beneficios de la relación de la ciudad con su emplazamiento natural (Zank et al., 2016).

2.16 Cuantificación De Daños Por Desastres

Los daños por desastres son cuantificados en función de la afectación económica y social. La afectación económica, es aquella referida a la pérdida de infraestructura pública y privada y contempla la contabilización de todos los daños materiales ocasionados durante el desastre. Entre ellos se incluyen las viviendas que habitan los afectados y a la infraestructura que le da las prestaciones, como: líneas de vida (agua, energía eléctrica, gas, etc.), caminos y carreteras, centros educativos y de salud etc. El daño económico se suele expresar en valor monetario y en porcentaje del PBI.

De otro lado, la afectación social está usualmente referida al daño humano y se contabilizan de forma independiente, los fallecidos, desaparecidos, heridos, evacuados, afectados, damnificados.

Finalmente, en relación al daño al medio ambiente, este suele ser mencionado con frecuencia, pero a la fecha no es común su cuantificación.

2.17 DALY

El concepto de ajuste de años de vida por discapacidad, conocido por sus siglas en inglés como DALY, fue creado para evaluar la carga de una enfermedad (Murray et al., 1994), es un indicador que mide el impacto en la salud humana y combina en un solo valor los parámetros de mortalidad y morbilidad. El indicador DALY, es utilizado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) con el respaldo del Banco Mundial para comparar los tipos de afectaciones a la salud humana (ASH) referidas a enfermedades o daños. Esta unidad de medida, permite realizar evaluaciones de la carga de cada ASH y viabiliza la comparación de los costos de la inversión realizados para disminuir los efectos nocivos en la sociedad de diversas enfermedades (JL Bobadilla, 1996), lo que facilita la elaboración de políticas públicas. El DALY es finalmente, una medida de la pérdida de la salud poblacional basada en la métrica de la reducción de la expectativa y calidad de vida como consecuencia de ASH, como se muestra en la figura 2.11.

El DALY es la extensión y complemento del concepto del QALY (Quality Adjusted Life Years) anteriormente utilizada para medir la expectativa de vida y calidad de la misma, Ambos son conceptos complementarios de modo que: $DALYs + QALYs = EXPECTATIVA DE VIDA ESTÁNDAR$. (C. J L Murray et al., 1994; Belakang, 2001; Donev & Lijana, 2010).

donde YLD (Years of Lost due to Disability) años de calidad de vida perdidos y YLL (Years of Life Lost due to mortality) años de vida perdidos por la prematura mortalidad

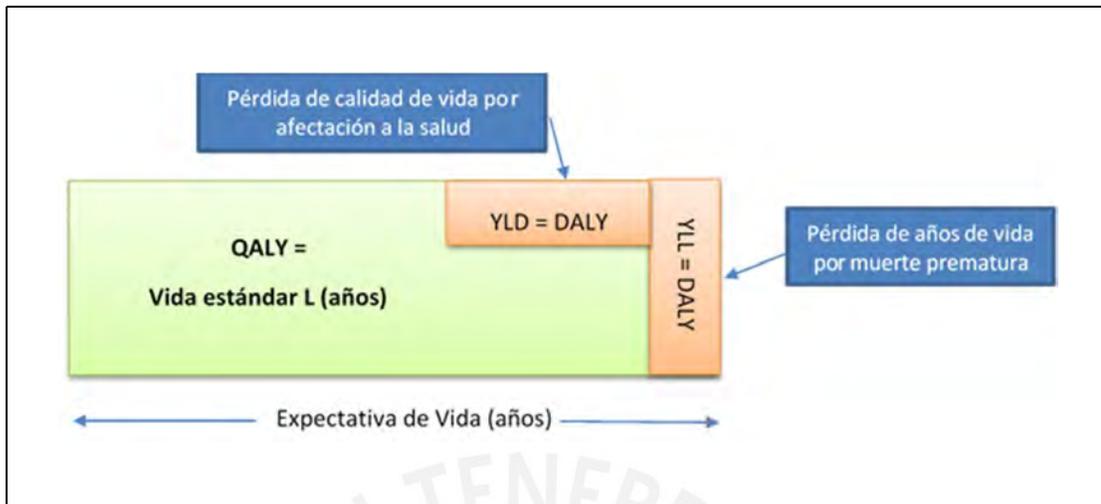


Figura 2.11: Conceptos de DALY y QALY (Fuente: adaptado de T. Arnesen, 1999).

En su forma más básica, se puede decir que: **DALYs = YLD + YLL**,

Donde: **YLL = N x L** (*YLL = años de vida perdidos debido a muerte prematura, N = número de muertes L = esperanza de vida estándar a la edad de la muerte en años*) y **YLD = DW x L** (*YLD = años perdidos debido a discapacidad I = número de casos incidentes DW = peso de discapacidad L = duración promedio del caso en años hasta la remisión o la muerte*)

El indicador DALY, fue desarrollado inicialmente para medir la carga global de una enfermedad y el criterio fue extendido para evaluar cada tipo de afectación a la salud (Donev & Lijana, 2010), como una enfermedad, un desastre de origen natural, un tipo de accidente o un conflicto armado, tendrá un impacto en la expectativa y calidad de vida de una población (Chen, Jacobsen, Deshmukh, & Cantor, 2015).

2.18 La Exposición a Desastres

La exposición a desastres se puede resumir como el total del Stock Antrópico ubicado en la zona de análisis, más el total de la exposición en vidas humanas y el daño al medio ambiente producto de la reposición del stock susceptible de ser dañado.

2.19 Inundaciones

Las inundaciones son un peligro natural que daña las propiedades, las personas y el medio ambiente (Ran & Nedovic-Budic, 2016), son considerados el desastre natural más común de todos (Stefanidis & Stathis, 2013) y la amenaza natural que genera más desastres en el mundo (ISRAM, 2014). Las inundaciones pueden ser causadas por precipitaciones excesivas o

concentradas, derretimiento de nieve rápido, fallas de estructuras de contención de reservorios o represas, deslizamientos sobre cuerpos de agua de tierra provocados por terremotos (Terremoto en Ancash 1970 que sepulto el poblado de Yungay), tsunamis etc. (Ran & Nedovic-Budic, 2016)

El riesgo por inundaciones en el Perú es alto, particularmente durante los episodios del fenómeno de El Niño, y será mayor en el futuro (SENAMHI, 2014). La tendencia creciente de desastres por inundaciones, se debe a los impactos combinados de los efectos del calentamiento global, cambios en el uso del suelo y una población que se asienta en zonas de expuestas al peligro. (ISRAM, 2014). En el contexto del cambio climático, la integración de la planificación espacial con la gestión del riesgo de inundación es indispensable para mitigar sus efectos (Ran & Nedovic-Budic, 2016).

En el Perú, las inundaciones repentinas en las áreas urbanas afectan a numerosas municipalidades locales, que a menudo no tienen una idea clara de las amenazas que estas pueden representar (INDECI, 2017). Cuando ocurren, se toman medidas para mitigar sus efectos negativos, sin embargo, no hay una gestión del riesgo de tales amenazas con anticipación (CENEPRED, 2014). Por consecuencia, el riesgo de desastres naturales y en particular las inundaciones, afectará siempre al desarrollo del país y en particular a las poblaciones más vulnerable, que usualmente son aquellas con menos recursos, lo que incrementa las desigualdades sociales.

Por lo tanto, la gestión del riesgo de inundación debe ser prioritaria en toda gestión de riesgos de desastres, porque los daños que pueden ocasionar a la población infraestructura y medio ambiente son considerables.

2.20 Evaluación De Los Componentes Del Riesgo

El riesgo de inundaciones crece por efecto del cambio climático y las demandas por áreas de ampliación urbana en las regiones propensas a las inundaciones, aumentando la probabilidad de ocurrencia de desastres. El enfoque de gestión de riesgo de inundación enfatiza la importancia de controlar el peligro y disminuir la vulnerabilidad a sus efectos, se ocupa de los probables impactos en la población, infraestructura y medio ambiente (Ran & Nedovic-Budic, 2016). Esta debe basarse en un enfoque de sistema completo que evalúa las formas estructurales y no estructurales para lograr la mitigación de los impactos (Sayers et al., 2012).

La evidencia sugiere que un enfoque combinado es la forma más efectiva de combatir el riesgo de inundación, porque así se aprovecha las fortalezas individuales de los dos tipos de medidas (estructurales y no estructurales). Por lo tanto, las estrategias de gestión del riesgo de inundación ya no se basan principalmente la implementación de estructuras de protección, puesto que estas son económica y ambientalmente costosas, y su efectividad es sensible al contexto socioeconómico y las conductas gubernamentales. Lo ideal, es

entonces, incorporar medidas no estructurales que integren la planificación espacial con la gestión del riesgo de inundación y contemplen las tres dimensiones de integración en la gestión del riesgo: territorial, política e institucional en la planificación espacial con la gestión del riesgo de inundación (S. N. Jonkman et al., 2018; Ran & Nedovic-Budic, 2016).

2.20.1 Modelado Hidrológico - Hidráulico

La investigación y desarrollo de modelos de inundación, se ha convertido en un esfuerzo global (Teng et al., 2017). Los mapas de inundación generalmente se basan en la altimetría de las llanuras de inundación subyacentes a las áreas de desarrollo antrópico, principalmente áreas urbanas y agrícolas (Meesuk et al., 2017). La identificación de áreas propensas a sufrir inundaciones se puede realizar mediante el modelado hidráulico del flujo de agua en una cuenca, el mismo que requiere, previamente del modelado hidrológico de las precipitaciones sobre la cuenca, en adicional a las características físicas de la misma y que comprenden parámetros de dimensiones, características altimétricas, tipo de cobertura del suelo (natural o antropogénico), condiciones geológicas, hidrogeológicas y geomorfológicas entre otras.

Este proceso requiere de abundante información relativa a las características físicas de la cuenca y de las características de los probables escenarios de tormentas. En adicional, los probables escenarios de tormentas deben ser analizados estadísticamente a partir de los registros históricos de episodios anteriores, idealmente descritos por lecturas de variables climatológicas tomadas en estaciones meteorológicas y en puntos de control del flujo de agua en los ríos (caudales, tirantes, velocidades, etc.) de la red hidrográfica que define la cuenca. Por lo expuesto, las precisiones de los mapas de inundación dependen de la naturaleza de las condiciones físicas y la disponibilidad y calidad de los datos. (Meesuk et al., 2017).

La información requerida para el modelado de las áreas de inundación, es abundante, difícil de obtener y eventualmente escasa o inexistente por lo que es usual complementar las mediciones en campo con mediciones tomadas con el uso de sensores remotos montados en satélites o vehículos aéreos no tripulados.

Las características de complejidad del modelado de los flujos de agua en una cuenca pueden representarse de forma simplificada mediante la utilización de entornos basados en sistemas de información geográfica (SIG) en donde se puede representar la topografía mediante modelos de elevación digital obtenidos telemetría satelital (Choquehuanca, 2012) y la ubicación georeferenciada de todos los stocks existentes en la cuenca (tanto antrópicos como naturales) que incluyen entre otros información catastral, la planificación espacial del uso de suelos y características del medio ambiente. Es usualmente necesario adaptar la metodología a los datos disponibles y que deberían comprender también al sistema de alcantarillado de drenaje e información de construcción. (Wicht & Osinska-Skotak, 2016).

2.20.2 Exposición a las Inundaciones

Los elementos expuestos en zonas susceptibles a las inundaciones son clasificados por CENEPRED como de naturaleza social, económica y ambiental (2014). Los elementos sociales expuestos son: población por grupos etarios, instituciones educativas, establecimientos de salud y establecimientos de salud. Los elementos de dimensión económica comprenden: redes eléctricas, agua potable, alcantarillado, gas. Vías de comunicación y puentes, terminales terrestres, aéreos y puertos. Terrenos agrícolas, reservorios de agua y canales de regadío y los elementos ambientales expuestos: Suelos erosionables, cuerpos de agua, zonas intangibles, deforestación. La vulnerabilidad a las Inundaciones se modela en función de los cambios de uso de suelos sin tomar en cuenta la cuantificación de stocks. No se cuenta con referencias al momento de evaluaciones de impactos ambientales de la reposición stock urbanos por desastres naturales.

2.21 Mapas De Riesgo Por Inundación

En la actualidad, existen mapas nacionales que muestran las zonas en riesgo a inundaciones y aluviones, elaborados por el centro de estudio y prevención de desastres (PREDES), siguiendo una metodología mayormente cualitativa, basada en el proceso de Análisis Jerárquico consiste en el uso de descriptores de jerarquía asignados por el evaluador que conducen a la obtención de pesos de las diferentes intensidades del peligro y a los diferentes niveles de vulnerabilidad.

Otro método, utilizado para cuantificar peligro por inundaciones, es el modelamiento numérico del comportamiento hidráulico de las escorrentías y los ríos, en función de precipitaciones pluviométricas acumuladas, basadas en antecedentes históricos registrados por estaciones meteorológicas y la geomorfología de la cuenca. Esta última comprende la topografía, que eventualmente puede ser obtenida de Modelos de Elevación Digital (DEM), la clasificación de suelos según su permeabilidad y la cobertura de estos para la estimación de parámetros de escorrentía superficial y subsuperficial, parámetros que también pueden ser estimados mediante clasificación supervisada de imágenes satelitales, (Choquehuanca Solorzano, 2012).

El modelado numérico permite estimar el aporte de cada sub cuenca al caudal del río para luego analizar la suficiencia de transporte del cauce a lo largo del recorrido del mismo y con la finalidad de predecir los niveles de inundación para diferentes escenarios de condiciones de precipitación (figura 2.12).

El modelamiento de la vulnerabilidad se realiza en función de los daños según nivel del tirante de inundación y de la fragilidad del stock expuesto. No se cuenta con referencias de evaluaciones de impactos ambientales de la reposición stock urbanos por desastres por inundaciones y el uso de técnicas de procesamiento de imágenes satelitales es aún limitado.

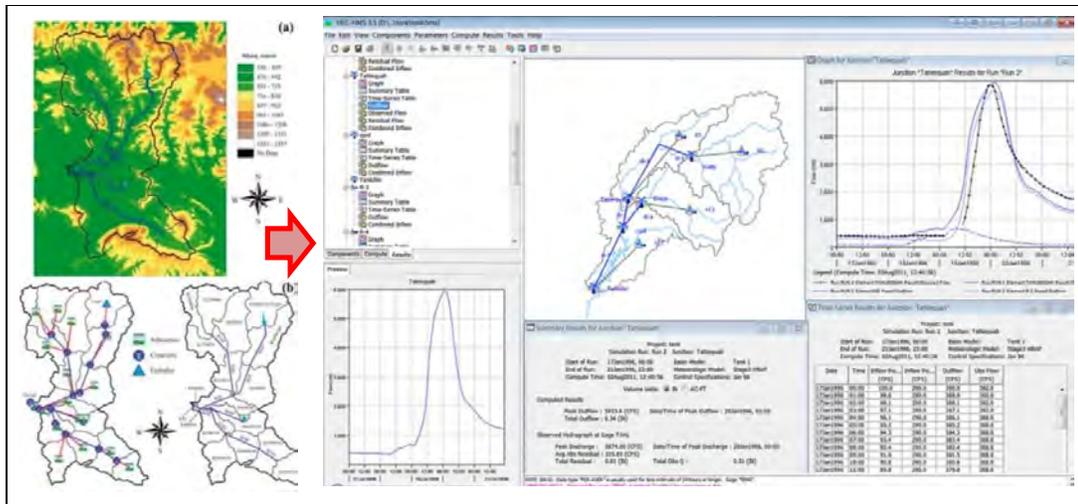


Figura 2.12: Metodología y software HEC-HMS que calcula el caudal punta e hidrograma en una sección del río, en función de registros de Información meteorológica, (Fuente: Centro de Ingeniería Hidrológica por el cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos).

Los mapas cualitativos de riesgos de origen natural, evalúan los factores desencadenantes y condicionantes de la susceptibilidad del territorio a las inundaciones en función de la recopilación y análisis de diversa información, entre las que están comprendidas información histórica, cartográfica, topográfica, hidrográfica, climatológica, geomorfológica, (CENEPRED, 2014c) y evalúan factores condicionantes relativos a la ubicación en relación al entorno propenso a que el fenómeno ocurra con mayor intensidad y magnitud y determinados por características geomorfológicas de la cuenca, características geológicas, geotectónicas, factores desencadenantes como las características climatológicas y la estratificación de la peligrosidad probabilidad de riesgo por inundaciones.

La naturaleza extrema de las inundaciones las hace poco predecibles, por lo que el periodo de retorno de las mismas tiene alta incertidumbre, por lo que los mapas de riesgos de inundaciones son de relativa utilidad ante los ECE. El riesgo de inundación, es de difícil cuantificación, tanto por la carencia de información actualizada como por la inexistencia de registros técnicos y fiables de eventos ocurridos en el pasado.

3 METODOLOGÍA

La metodología seguida por esta investigación fue de carácter holística, y se fundamentó en la revisión del estado del arte de los diversos aspectos relacionados con la valoración de daños por desastres de origen natural, y en particular de aquellos ocasionados por las inundaciones en el Perú, atribuidas a el Fenómeno del Niño. La valoración del daño por desastre (ocurridos o potenciales) se combinó con el uso de la herramienta de análisis de stocks, en conjunto con información censal y catastral, y se procesó en Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente el software de libre disponibilidad QGIS.

La evaluación retrospectiva, se realizó para los daños a nivel nacional ocasionados por los eventos del fenómeno de El Niño de los años, 1982-83, 1997-98 y 2017. Para la evaluación prospectiva se seleccionó como caso de estudio, a la zona urbana expuesta a inundaciones del distrito de Piura, capital de la provincia y departamento del mismo nombre (figura 3.1).

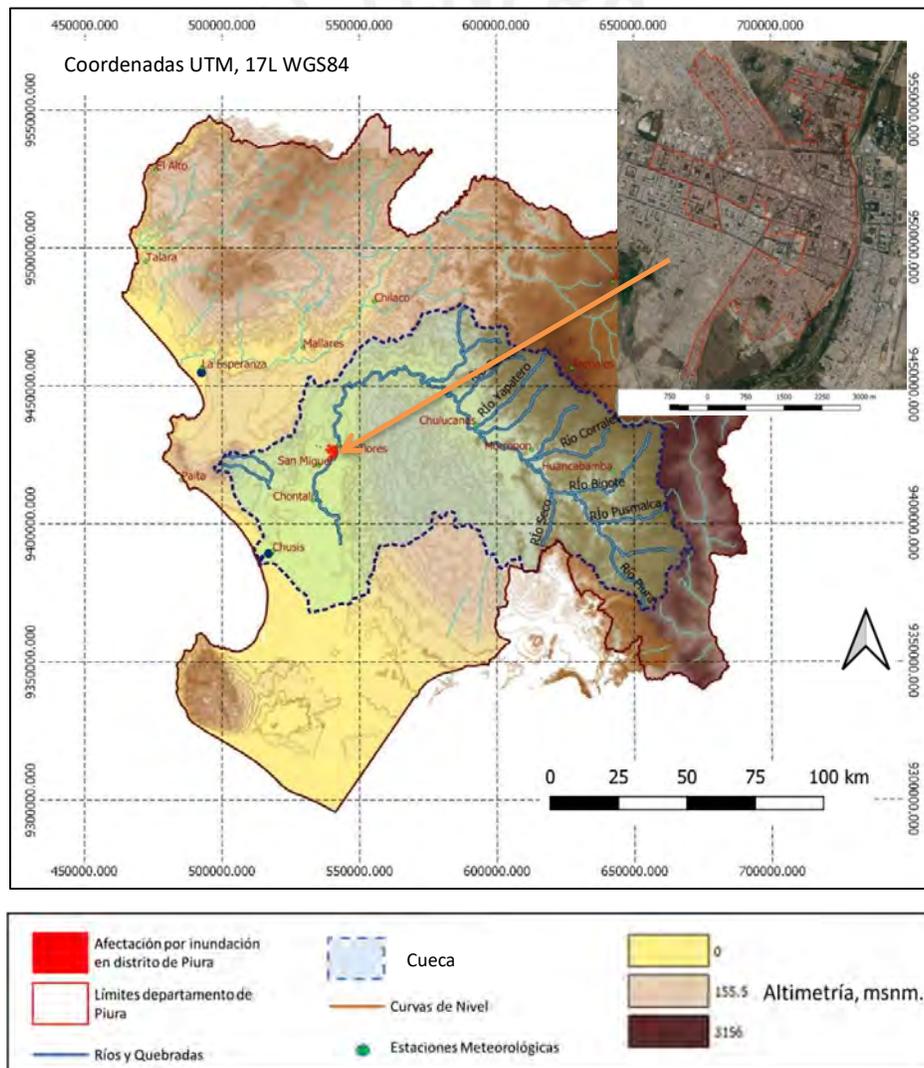


Figura 3.1. Ubicación de caso de estudio: Zonas en Riesgo por Inundación en distrito de Piura.

La revisión literaria comprendió aspectos relacionados con los métodos de cuantificación de stocks urbanos y el uso de técnicas de clasificación de imágenes satelitales del tipo ráster, así como la frecuencia e intensidad con que estos pueden ser afectados por los desastres. Para este fin, se recurrió como fuentes primarias a contactos con personal de INDECI que estuvo directamente involucrado con la gestión de la atención a zonas inundadas, así como con pobladores afectados por inundaciones. Como fuentes secundarias se recurrió a información registrada en diversas bases de datos relativas a los daños por desastres de origen natural y variables climatológicas relacionadas con el fenómeno de El Niño entre otros, que se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Bases de datos y/o sistemas de gestión de información utilizadas.

Base de Datos	Contenido	Link
EM-DAT: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). Con soporte de WHO y del Gobierno Belga.	Daños por desastres a nivel global.	https://www.emdat.be/
SINPAD, INDECI, Perú	Emergencias en Perú.	http://sinpad.indeci.gob.pe/PortalSINPAD/
DESINVENTAR, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en America Latina (LA RED)	Emergencias por desastres en Latinoamérica y otros.	https://www.desinventar.org/es/
SENAMHI, Perú	Datos hidrometeorológicos a nivel nacional.	https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones
SNIRH	Datos Hidrométricos y otros.	http://snirh.ana.gob.pe/visors2/
INEI, Perú	Censo en Perú 2017 y anteriores.	http://censo2017.inei.gob.pe/
Banco Mundial	Información estadística económica y poblacional global.	https://data.worldbank.org/country
GBD, Universidad de Washington	Métrica de la salud poblacional.	https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/
Geollaqta, COFOPRI, Perú	Información de daños prediales por desastres en Perú y otros.	https://catastro.cofopri.gob.pe/geollaqta/
SIGRID, CENEPRED, Perú	Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres	http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/
PLANPAM, Perú	Información sobre población vulnerable	https://www.mimp.gob.pe/adultomayor/index.html
SIEA, MINAGRI, Perú	Sistema Integrado de Estadística Agraria en Perú.	http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=node

Adicionalmente, se revisó de forma transversal la bibliografía en las diferentes especialidades requeridas para formar una visión integral de la forma de acumular el daño en sus diversas dimensiones, que derivó en la elección del DALY como el indicador más adecuado para la valoración retrospectiva del daño ocasionado por desastres en el pasado y como prospectiva de la exposición al peligro en el futuro.

El método seleccionado para la valoración del daño, fue el indicador no monetario DALY, descrito en el capítulo 2.17, según se muestra en la figura 3.2. Esta metodología, se basó en la cuantificación de stocks antrópicos perdidos o expuestos a ser perdidos mediante conteo de forma ascendente (bottom up). El método permitirá contar con planos que muestren las diversas dimensiones en riesgos de los componentes expuestos al riesgo de desastre por inundaciones, y generar instrumentos técnicos que faciliten la adopción de mejores políticas públicas orientadas a mitigar los potenciales daños humanos a la infraestructura nacional y al medio ambiente, para ello, la evaluación deberá ser posible tanto en carácter retrospectivo de los daños ocurridos o con finalidad prospectiva de los daños por ocurrir.

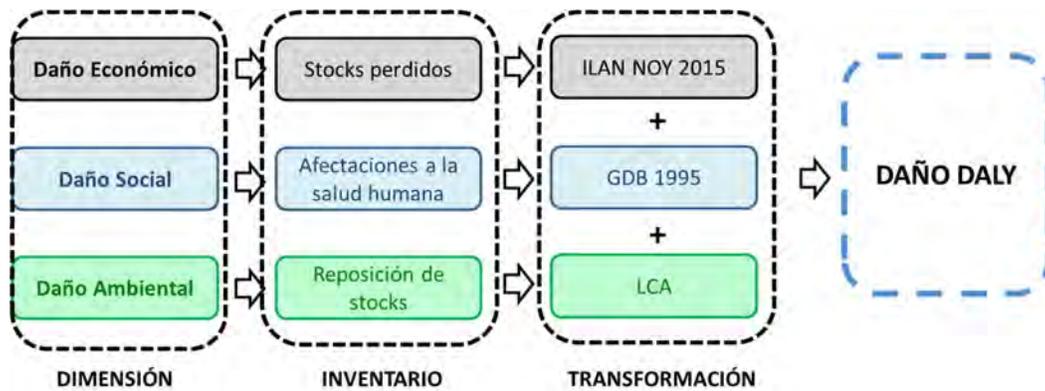
La métrica del impacto total de una enfermedad, plantea los mismos desafíos y requerimientos que la medición de los daños a la salud de las poblaciones afectadas por un desastre. Un evento que afecta a una población, requiere en adicional a la contabilización de fallecidos, establecer la gravedad de las afectaciones de los sobrevivientes, para ello, la métrica de la morbilidad recurre al uso de factores de peso para cada tipo de afectación, los que resultan críticos a la hora de evaluar el valor en años de la afectación la disminución de la calidad de vida por las secuelas de una enfermedad o desastre (Velásquez A, Cachay C, Poquioma E, Espinoza R, 2009).

También resultará crítico el valor de la expectativa de vida que se tomará como base para el cálculo de los años de vida perdidos, puesto que estos suelen variar según la nacionalidad, el sexo o la localidad de origen entre otros. En los estudios de carga de afectaciones a la salud de la población, el promedio de DALY es calculado para la edad específica de cada individuo y según el sexo del mismo (Devleesschauwer et al., 2014) y admite diversas modificaciones en el cálculo según el criterio que se desee adoptar, como se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Expresiones para el cálculo de DALY según distinciones sociales y temporales.

<p>Sociales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Expectativa de vida diferentes para hombre que para mujeres (componente del YLD) • Diferencias en el peso de la discapacidad en el que se basa el YLDs (una misma afectación a la salud puede tener diferentes valoraciones culturales o étnicas)
<p>Opciones</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sin considerar la ponderación de la edad y el descuento. • Considerando la ponderación de la edad • Considerando ponderación por edad y descontando
<p>DALY con descuento temporal (Donev & Lijana, 2010)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 3%, Tiene efecto negativo en inversiones preventivas, de modo que al aplicar una tasa de descuento se valora más el año de vida presente que el futuro. <p>Si bien , $YLL = N \times L$, esta expresión puede tomar otras formas según se consideren otros efectos como la tasa de descuento</p> $YLL = \frac{N}{0.03} (1 - e^{-0.03L}) \quad YLD = \frac{IDW(1 - e^{-0.03L})}{0.03}$ <p><i>YLL = años de vida perdidos debido a muerte prematura N = número de muertes L = esperanza de vida estándar a la edad de la muerte en años</i></p> <p><i>YLD = años perdidos por discapacidad I = número de casos incidentes DW = peso de la discapacidad L = duración promedio del caso hasta la remisión o la muerte (años)</i></p>
<p>DALY con descuento temporal y peso de edad (Donev & Lijana, 2010)</p>	$YLL = \frac{KCe^{ra}}{(\beta + r)^2} \left[\begin{array}{l} \left[\frac{e^{-(r+\beta)(L+a)}}{-(r+\beta)(L+a) - I} \right] \\ \left[\frac{-e^{-(r+\beta)a}}{-(r+\beta)a - I} \right] \end{array} \right] + \left[\frac{1-K}{r} (1 - e^{-rL}) \right]$ <p><i>YLL = años de vida perdidos por muerte prematura K = constante de modulación ponderada por edad (p. Ej., K = 1) C = constante de ajuste para pesos de edad (el valor estándar de GBDS es 0.1658) r = tasa de descuento (el valor estándar de GBDS es 0.03) a = edad de la muerte (años): constante de ponderación (el valor estándar de GBDS es 0.04), L = esperanza de vida estándar a la edad de la muerte (años)</i></p> $YLL = DW \left\{ \frac{KCe^{ra}}{(\beta + r)^2} \left[\begin{array}{l} \left[\frac{e^{-(r+\beta)(L+a)}}{-(r+\beta)(L+a) - I} \right] \\ \left[\frac{-e^{-(r+\beta)a}}{-(r+\beta)a - I} \right] \end{array} \right] + \left[\frac{1-K}{r} (1 - e^{-rL}) \right] \right\}$ <p><i>YLD = años perdidos debido a la discapacidad DW = peso de la discapacidad K = constante de modulación de ponderación por edad (por ejemplo, K = 1) C = constante de corrección de ponderación por edad (el valor estándar de GBDS es 0.1658) r = tasa de descuento (el valor estándar de GBDS es 0.03) a = edad de inicio</i></p> <p><i>Beta = parámetro de la función de ponderación por edad (el valor estándar de GBDS es 0.04) L = duración de la discapacidad (años)</i></p>

Finalmente, el proceso metodológico de acumulación de daños se puede resumir como se muestra en la figura 3.2, que muestra el proceso que se seguirá para las evaluaciones retrospectivas y prospectivas.



Donde, GDB es Global Burden of Disease y LCA es Life Cycle Assessment

Figura: 3.2: Resumen metodológico de combinación de procesos de acumulación de daños

3.1 Evaluación Retrospectiva

La evaluación retrospectiva de daños por desastres, se realizó mediante la adopción de la unidad del DALY (disability adjusted life years) para evaluar los daños ocasionados por los eventos del fenómeno de El Niño de los periodos 1982-83, 1997-98 y 2017. Estos periodos de El Niño, son considerados extraordinarios y cuya relación de daños materiales y humanos a nivel nacional es conocida y detallada en los campos de: unidades de viviendas, escuelas y hospitales afectados y destruidas, kilómetros de carreteras afectadas y destruidas, puentes afectados y destruidos, área de cultivos afectados y destruidos, así como de personas fallecidas y afectadas entre otros.

Para la expresión en unidades de DALY de cada dimensión del daño ocurrido, se utilizó la metodología basada en la adaptación realizada por el economista Neozelandés Ilan Noy (2016), basada en la métrica de la carga global de enfermedades desarrollado por la Organización mundial de la salud (Murray et al., 1994) y se agregó como aporte propio, el valor del daño ambiental en la categoría de cambio climático, valor que a nivel de impacto final, es usualmente representada en DALY (Stadelmann, Michaelowa, Butzengeiger-Geyer, & Köhler, 2015). De esta forma se puede expresar el daño en cada una de sus dimensiones en unidades de años de vida humana.

$$DTD (\text{años}) = DE (\text{años}) + DS (\text{años}) + DA (\text{años}) \quad (1)$$

Donde: DTD (años) = Daño Total por desastre expresado en DALY, DE (años) = Daño Económico en DALY, DS (años) = Daño Social en DALY, DA (años) = Daño Ambiental en DALY.

Así mismo se tiene que;

$$DE = 0.25 \times P/IBPC \quad (2)$$

Donde P = pérdidas económicas por el desastre e IBPC = ingreso bruto per cápita anual, ambas expresadas en la misma moneda y se reduce por considerar que solo un 25% del tiempo de es dedicado a laborar (Noy, 2015).

$$DS = M + AF \quad (3)$$

Donde M = Mortandad (DALY) y AF = Afectación en la calidad de vida (DALY)

La Mortandad en términos de DALY es igual a la pérdida de años de vida de cada fallecido que para el caso de estudio, por carecer de información relativa a la expectativa de vida y edad de cada deceso a consecuencia del desastre. Se ha adoptado la misma estrategia que Noy (2016), es decir, considerar la expectativa de vida referencial de 92 años proyectada para los que nacerán en el año 2050 y adoptada por la Organización Mundial de la Salud. Así mismo, se consideró que, la edad promedio de los fallecidos es igual a la media de edad de la población.

De lo expuesto se desprende que:

$$M = NF \times (92 - EP_{prom.}) \quad (4)$$

Donde NF = número de fallecidos por el desastre (para nuestro caso, consideramos los desaparecidos también como fallecidos) y $EP_{prom.}$ = Edad de la población promedio.

En relación a la afectación en la calidad y expectativa de vida expresada años de vida humana, referidas a los heridos o afectados por el desastre, se debería considerar las lesiones graves y el costo de su atención, el tiempo de hospitalización y la rehabilitación, así como el impacto en la salud mental de las personas de las personas que fueron desplazados o cuyas casas fueron destruidas o su economía fue deteriorada entre otros impactos relacionados al bienestar humano, sin embargo, en la mayoría de los casos de desastre, esta información no está disponible para realizar un cálculo tan detallado (Noy, 2016), por lo que al igual que Noy, utilizaremos un factor de 0.054, que es el factor asignado por la metodología de Global Burden of Disease (GDB) para la afectación a la salud por cuadros de ansiedad generados por enfermedades no complicadas (Noy, 2015), este valor será reducido al 25%, por considerar que solo una cuarta parte de los afectados han sufrido este tipo de daño, finalmente, se asumirá un tiempo de afectación por desastres de 3 años, que es el estimado para casos de inundación como los ocasionados por el fenómeno de El Niño.

$$AF = 0.054 \times 3 \times 0.25 \times NA = 0.162 \times NA \quad (5)$$

Los daños ambientales, a nivel "Endpoint" se expresan en unidades de DALY. Si bien es cierto que, a diferencia de los daños materiales, que son inmediatos a la ocurrencia del desastre, los daños ambientales estarán diferidos al futuro, cuando los bienes dañados sean repuestos. Por ello, hemos considerado una tasa de descuento del 3% anual (en concordancia con la metodología propuesta WHO (2013)), para un periodo de 3 años, lo que da un factor de $(1 - 0.03)^3 = 0.941$. Así mismo, dado que la unidad de DALY combina en un solo indicador valores de mortandad y morbilidad (afectación presente y futura de la salud), no consideramos adecuado realizar mayores ajustes por concepto de daños diferidos al futuro. Finalmente, para el cálculo

de esta variable se estimarán las emisiones de CO₂ equivalentes para la reposición de la infraestructura dañada, calculados mediante la perspectiva del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y la metodología del IPCC (2013). Los resultados obtenidos, que serán la emisiones de CO₂ eq (impacto a nivel Midpoint), serán luego transformadas a Endpoint mediante la multiplicación por el factor estimado por la metodología RECIPE (2016) para transformar valores de emisiones de kilogramos de CO₂ equivalentes a impacto final mediante el criterio igualitario (basado en el principio preventivo a largo plazo) por ser el criterio que otorga mayor peso al impacto ambiental (RECIPE 2016), con lo que el daño ambiental de un desastre, se puede expresar como la suma de las emisiones de kilogramos de CO₂ equivalentes de cada una de los tipos de stock físico dañado multiplicado por 3,51x10⁻⁶ (factor de conversión de Midpoint a Endpoint propuesto por la metodología RECIPE mediante la perspectiva igualitaria), es decir:

$$DA = 0.941 \times 3.51 \times 10^{-6} \times \sum_{i=1}^n Ei \cdot Ii \quad (6)$$

Donde n es el total de tipos de infraestructura contabilizados, *Ei* es la emisión de cada uno de los tipos de infraestructura por unidad de metrado e *Ii* = cantidad de infraestructura dañada de cada tipo.

Finalmente, en la evaluación retrospectiva utilizaremos la expresión que se muestra en la ecuación 7:

$$\begin{array}{cccc}
 \text{Daño} & \text{Daño} & \text{Daño Social} & \text{Daño Ambiental} \\
 \text{Total por} & \text{Económico} & \text{del Desastre} & \text{del Desastre} \\
 \text{Desastre} & \text{del Desastre} & & \\
 \hline
 \text{DTD} = \underbrace{P/IBPC/4}_{\text{Daño Total por Desastre}} + \underbrace{NFx(92-EP_{\text{prom.}})}_{\text{Daño Económico del Desastre}} + \underbrace{0.162xNA}_{\text{Daño Social del Desastre}} + \underbrace{3.304 \times 10^{-6} \times \sum_{i=1}^n Ei \cdot Ii}_{\text{Daño Ambiental del Desastre}} \\
 \text{DALY} & & & \\
 & \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{Pérdidas de vidas humanas}} & \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{Pérdidas por afectación a la salud}} & \\
 & & & (7)
 \end{array}$$

La evaluación con criterio retrospectivo comprende a los principales tipos de infraestructura dañada por los eventos del fenómeno de El Niño (p.ej., casas, viviendas, hospitales y escuelas, puentes, carreteras y áreas de cultivo agrícola). Si bien es cierto que la diversidad de daños, es decir la afectación de stocks, abarca más campos de los descritos, como afectaciones al sector agropecuario, afectación a las redes de servicios públicos, pérdidas de mobiliario y electrodomésticos entre otros, estos no han sido cuantificados en el cálculo de pérdidas de stocks por carecer de información suficiente que abarque los diversos eventos extremos de fenómenos de El Niño evaluados. Se muestran en la tabla 3.3, los campos de daños evaluados y la característica de los datos utilizados.

Tabla 3.3: Relación de campos de daños evaluados por eventos del fenómeno de El Niño y huella de carbono respectiva.

Campo de Daños	Unidad	TN CO ₂ eq./unid.	Fuentes	Criterio adoptado
Carreteras dañadas	kilómetro	137.20	(Biberos, 2018; Verán Leigh, 2017)	Se asume que la media de huella de Carbono (HC) de la construcción de un km. de carretera en Perú es igual al promedio de la HC de la carretera Tingo Kuélap y de la carretera panamericana Sur, con tiempos de vida medios de 20 años.
Carreteras destruidas	kilómetro	27.44		Se asume que un km. de carretera dañada generará en su reparación el 20% de las emisiones de la construcción de una nueva.
Puentes destruidos	unidad	42.42	(Thorlaciuss, s/f)	Se ha utilizado como referencia un puente de 60 mts de longitud media, con HC de 707 t CO ₂ /km
Puentes dañados	unidad	8.48		Se asume que un puente dañado generará en su reparación el 20% de las emisiones de la construcción de uno nuevo.
Viviendas destruidas (El Niño)	unidad	12.2	Adaptado de tipificación de vivienda rural de (Mesta et al., 2018)	Se ha considerado que las viviendas destruidas por inundaciones son en su mayoría precarias, del Tipo III y compuestas con un área de 104 m ² y compuestas por adobe y concreto cuya HC se analizó en Simapro-IPCC-2013.
Viviendas afectadas (El Niño)	unidad	1.22		Se asume que una vivienda dañado generará en su reparación el 10% de las emisiones de la construcción de una nueva.
Viviendas destruidas Por Sismo	unidad	103.02	Adaptado de tipificación de vivienda rural de (Mesta et al., 2018)	Se ha considerado que las viviendas destruidas por inundaciones son en su mayoría precarias, del Tipo III y compuestas con un área de 104 m ² y compuestas por adobe y concreto cuya HC se analizó en Simapro-IPCC-2013.
Viviendas afectadas Por Sismo	unidad	10.3		Se asume que una vivienda dañado generará en su reparación el 10% de las emisiones de la construcción de una nueva.
Centros educativos destruidos y hospitalarios	unidad	100		Se ha considerado un valor estimado den 2.5 veces (aprox.) la emisión de la HC de un puente.
Centros educativos afectados y hospitalarios	unidad	20		Se asume que la infraestructura dañada generará en su reparación el 20% de las emisiones de la construcción de una nueva.
Área agrícola destruida	hectáreas	4.73	MINAG y HC en: Simapro-IPCC2013. Ver tabla 2.3	Calculado en función de la producción del año 2017 para los departamentos de la costa norte.
Área Agrícola Afectada	hectáreas	0.95		Se asume que el área afectada generará en el 20% de las emisiones en relación a 1 ha. Perdida.

Tabla 3.4: Cálculo de la huella de Carbono del cultivo de 1 hectárea agrícola promedio en los departamentos de la costa norte del Perú (Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash y Lima).

Región	Total, has. cosechadas	Total, Producción	Emisiones Tn CO2 eq.
Arroz	152,992	1,174,395	2,407,967
Cebada grano	33,641	62,918	41,705
Cebolla cabeza	2,388	72,553	23,868
Maíz en general	135,818	1,489,312	406,097
Papa	37,711	654,641	119,045
Trigo	54,897	86,514	74,419
Zanahoria	2,650	52,674	9,475
Limón sutil	19,717	127,305	41
Mandarina	6,283	204,424	111
Naranja	2,577	43,211	8
Mango	25,653	354,857	249
Manzana	8,624	141,996	43
Caña en General	89,820	10,414,707	1,206
Espárrago	18,268	203,095	152
Uva	14,908	360,980	75
Palta	25,212	313,316	245
Plátano	21,642	318,430	85
	652,801		3,084,800

Finalmente, los costos ambientales de cada tipo de infraestructura dañada detallada en la tabla 3.4, fueron aplicados para el cálculo de los DALYs de cada dimensión del daño.

3.2 Evaluación Prospectiva

La evaluación prospectiva de la exposición al riesgo de daños por inundaciones, se realizó mediante el inventariado de stocks expuestos al riesgo en la zona del caso de estudio, que es la zona del distrito de Piura que sufrió inundaciones durante el fenómeno de El Niño del 2017 según CENEPRED (2017), como se muestra en la figura 2.1. El distrito de Piura tiene un área de 978.5 has. y una población de 153,752 habitantes según el último Censo del 2017 (INEI). El área delimitada expuesta a inundaciones representa el 95% del área urbana del distrito.

La determinación del tipo de material de cobertura de techos se realizó mediante la clasificación supervisada de una imagen satelital del tipo ráster, obtenida del satélite europeo Sentinel 2 con código T17MNQ_20180919T153611 del 19 de setiembre del 2018, para lo cual, se utilizaron las bandas 2, 3 y 4 del espectro visible y la banda 8 del espectro infrarrojo (figura 3.3), todas con una resolución de 10x10 m. por pixel. Esta selección se realizó por la mayor resolución de estas bandas y por coincidir con las bandas de operación del satélite peruano, con la finalidad de que este trabajo pueda ser de utilidad futura para su uso con recursos nacionales.



Figura 3.3: Imagen ráster, Sentinel 2, banda infrarroja resaltada, del distrito de Piura.

El perímetro resaltado corresponde al área expuesta a inundaciones (Fuente: adaptado de Copernicus 2018 y CENEPRED 2017).

La clasificación supervisada se realizó por medio del algoritmo de máxima verosimilitud, implementado en la plataforma de libre disponibilidad del software QGIS, para lo cual, se seleccionaron polígonos de entrenamiento de valores de campo conocidos, para así obtener los porcentajes de reflectancia de las ondas de luz en cada ancho de banda (grupo de reflectancia conocido como firmas espectrales) de la luz visible y cercano a la infrarroja que captan las cámaras montadas en plataformas satelitales. Las firmas espectrales de cada tipo de cobertura de techo clasificada, y que se muestran en la figura 3.4.

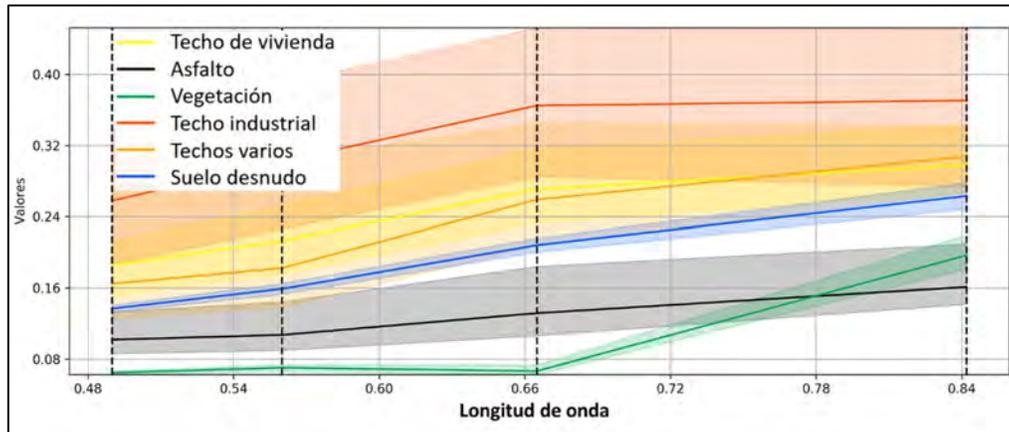


Figura 3.4: Firmas espectrales de tipos de cobertura, utilizadas para la clasificación supervisada.

La clasificación de coberturas de techos mediante el uso de imágenes satelitales, como se muestra en la figura 3.5, a diferencia del trabajo de Mesta y colegas, cuyos resultados fueron obtenidos mediante la acumulación directa de información del catastro urbano de la ciudad.

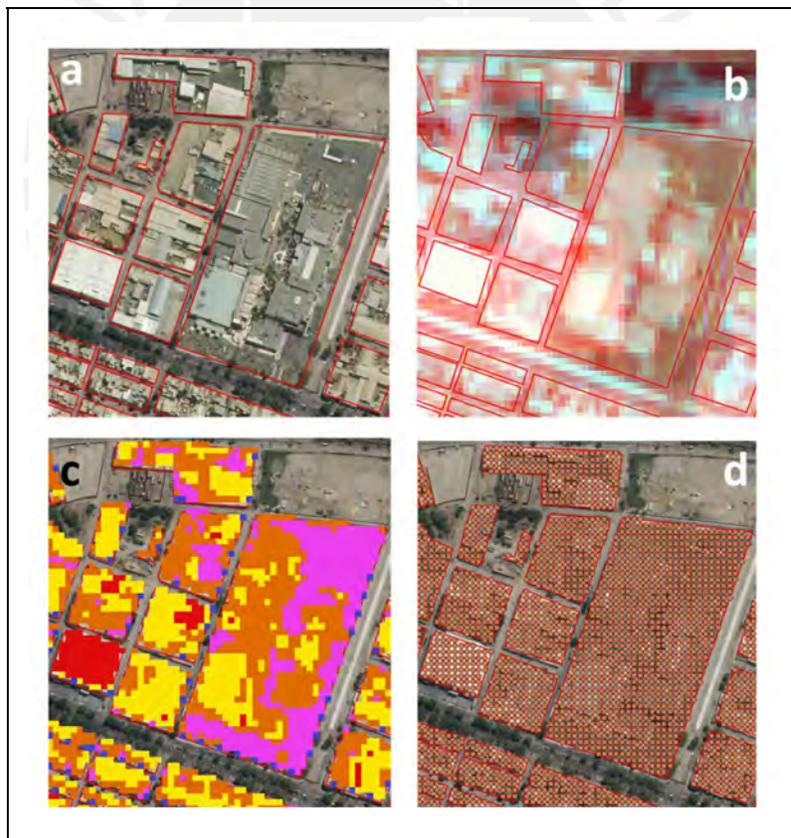


Figura 3.5: Procedimiento de clasificación supervisada de coberturas de techo de imágenes ráster del Sentinel 2 en las bandas RGB y NIR con resolución de 10x10mts. realizado en QGIS. a: Delimitación manual de bloques urbanos (manzanas); b: Superposición sobre imágenes ráster RGB + NIR; c: Clasificación supervisada de coberturas; d: Conteo de píxeles por cada tipo de cobertura.

El procedimiento de evaluación prospectiva se basa en la cuantificación de stocks urbanos, como elementos básicos para la determinación de la exposición a riesgos por desastres, que para el caso de estudio son las inundaciones. El procedimiento consistió en la delimitación de bloques urbanos dentro del área de estudio (figuras 3.5 y 3.6a), se procedió a asignar el valor de campo para el número de unidades catastrales en función del conteo automatizado mediante el software QGIS, basado en los planos catastrales del distrito de Piura (figura 3.6b). Luego para los campos de altura media de edificaciones se asignaron valores acordes con la altura de edificaciones promedio por bloque elaborado por el plan de gestión de riesgos de desastres para la ciudad de Piura: SEDI/AICD/306/09, de la OEA el mismo que fue actualizado por observaciones realizadas en función de imágenes de Google Street View (figura 3.6c). De forma análoga, se discrimino entre zonas urbanas y no urbanas (figura 3.6d).



Figura 3.6: Clasificación supervisada de tipos de cobertura de superficie.

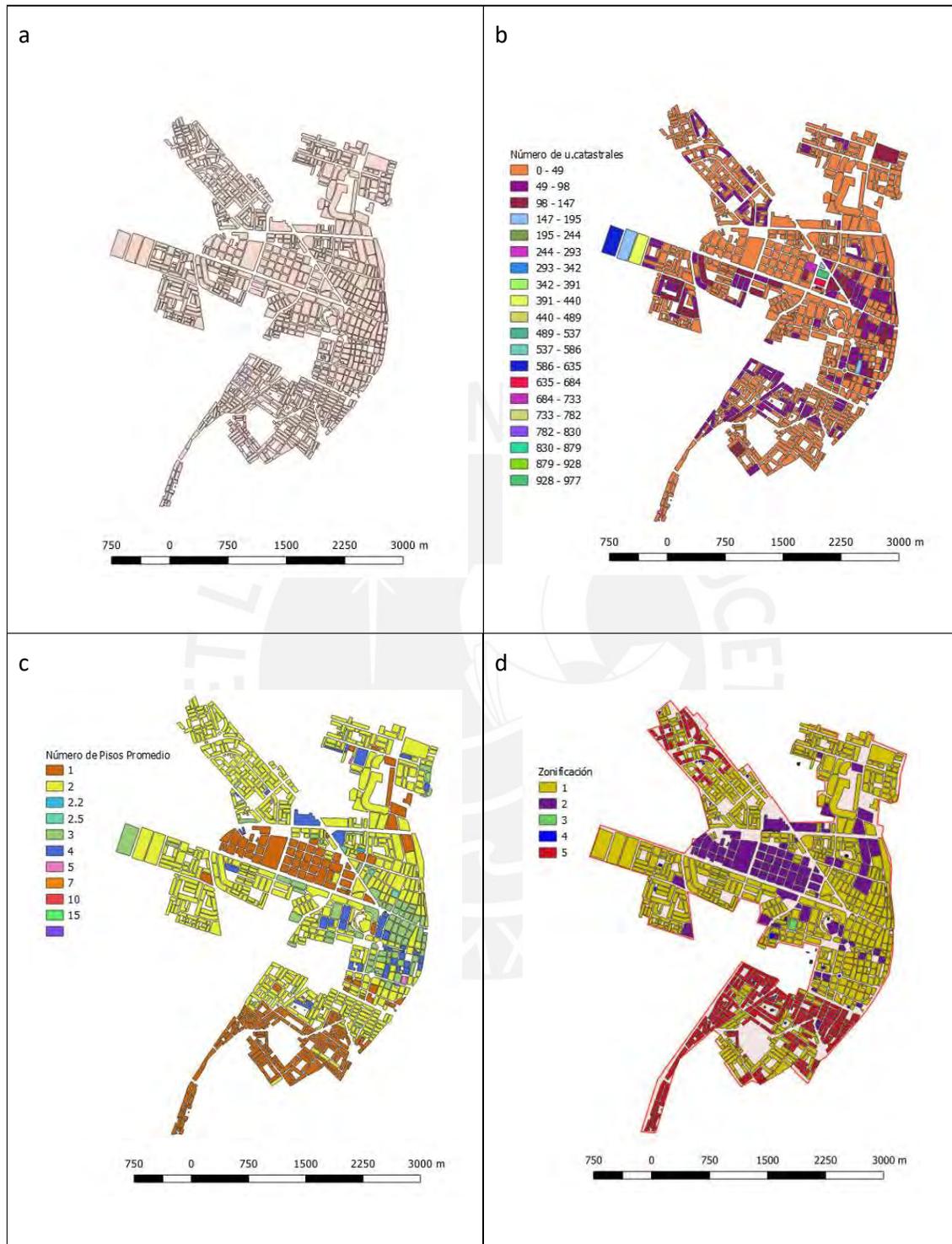


Figura 3.7, a: Delimitación de bloques urbanos; b: Cuantificación de unidades catastrales por bloque urbano; c: Número de pisos por bloque; d: Zonificación de áreas de viviendas donde: (1), áreas comerciales y/o industriales (2), viviendas materiales noble y (5) son viviendas precarias.

Finalmente, luego del procedimiento descrito, se obtuvo la información de cada bloque urbano que se indica en la tabla 3.5

Tabla 3.5: Relación de datos de cada bloque urbano.

Información de Bloque	Variable	Detalle
Área	A	Metrado mediante QGIS
Número de unidades Catastrales	NC	Obtenida mediante conteo simple automatizado mediante QGIS basado en el catastro urbano.
Número de pisos promedio	NP	Obtenido mediante asignación manual acorde con planos de SEDI/AICD/306/09 y corroboración con Google Streetview.
Zonificación	Z	Z= 1 para bloques urbanos, 2 para bloques comerciales y 3 y 4 para otras coberturas
Área techada concreto	AC	Obtenido mediante conteo automatizado de pixeles de 10x10 m. de la clasificación supervisada de imagen ráster en QGIS.
Área techada Industrial	AI	Obtenido mediante conteo automatizado de pixeles de 10x10 m. de la clasificación supervisada de imagen ráster en QGIS.
Área techada Otros	AO	Obtenido mediante conteo automatizado de pixeles de 10x10 m. de la clasificación supervisada de imagen ráster en QGIS.

El procesamiento de los datos obtenidos en cada bloque urbano mostrados en la tabla 3.4, se realizó con el uso de los parámetros de cantidad y tipo de edificación según material constituyente del techo, así como de la población, mediante el uso de la información del último censo de población y vivienda del INEI (2017) según se muestra en las tablas 3.6 y 3.7.

Tabla 3.6: Unidades de vivienda según material el material del techo, (Fuente: INEI).

Distrito	Techo de material noble		Techo de calamina o tejas		Techo de material precario	
	Techo de Edificio	Techo de Casa	Pared material Noble	Pared material Precario	Pared material Noble	Pared de material precario
Población del distrito de Piura	16,669	2,970	8,044	5,635	170	402

Tabla 3.7: Distribución de habitantes, según tipo de techo (Fuente: INEI).

Distrito	Material noble	Calamina o tejas	Material precario	Total
Piura	93,725	57,816	2,211	153,752

Asimismo, para la cuantificación de materiales embebidos en los stocks urbanos, se utilizó los índices de intensidad de uso de materiales por m² de la ciudad de Chiclayo cuya composición es similar a la ciudad de Piura (tabla 3.8).

Tabla 3.8: Índice de composición material, (Fuente: adaptado de Mesta y colegas; 2018).

Componentes	Intensidad de Materiales (kg/m²)					
	Ladrillo (IL)	Adobe	Madera	Concreto (IC)	Acero (IA)	Mortero (IM)
Vivienda Tipo I, casa de material noble	267			1,058	34.8	256
Vivienda Tipo II, casa de adobe		688	30	539		
Vivienda Tipo III, vivienda en edificio	234			933	37.5	241

Finalmente, para la valoración de la exposición ambiental por potencial reposición de los materiales afectados por un desastre, se utilizaron los valores de emisiones de CO₂ equivalentes que se detallan:

Tabla 3.9: Emisiones de kg CO₂ eq. de principales materiales de construcción.

Material	IPCC GWP 100a kg CO₂ eq.	Unidad
Ladrillo	0.319	kg
Adobe	0.000	kg
Madera (triplay)	0.261	kg
Concreto ciclópeo	0.091	kg
Concreto estructural	0.106	kg
Acero	1.810	kg
Mortero	0.250	kg

Con lo que se aplicó los valores de emisión mostrados en la tabla 3.8 a la intensidad de uso de materiales para obtener la intensidad de emisiones por m² de tipo de edificación que se muestran en la tabla 3.10.

Tabla 3.10: Intensidad de emisiones de kg CO₂ eq. de tipologías de vivienda.

Tipo de Edificación	Coficiente	Emisiones de kg CO₂ eq. por m²
I: Vivienda de material noble	Ev _n	308.44
II: Vivienda Rústica	E _v _r	56.88
III: Departamento en Edificio	E _d _p	301.67

Como última etapa del método seguido, se corrige el área techada de cada bloque urbano (tabla 3.11) según esta sea domiciliaria o no, en función de la clasificación supervisada de imagen satelital como se indica a continuación:

Tabla 3.11: Cálculo del área techada para cada bloque urbano.

Descripción	Cálculo	Criterio
Área techo Edificaciones Tipo I	Si $Z=1$ y $NP \leq 2$, $At_1=AC$ si no, 0	Se seleccionan las áreas techadas (At) para viviendas de material noble.
Área techo Edificaciones Tipo II	Si $Z=5$ y $NP \leq 2$, $At_2=AC$ Si no, 0	Se seleccionan las áreas techadas (At) concreto para viviendas rústicas.
Área techo Edificaciones Tipo III	Si $Z=5$ y $NP > 2$, $At_3=AC$ Si no, 0	Se seleccionan las áreas techadas (At) para viviendas tipo departamento.
Área techo Edificaciones Tipo IV	Si $Z=2$, $At_5=AC$ Si no, 0	Se seleccionan las áreas techadas (At) para edificaciones comerciales o industriales.

Finalmente, a partir de las áreas techadas por cada tipo de edificación se calculan los materiales utilizados (p. ej., concreto, ladrillo, acero etc.), para lo cual se multiplican las áreas de cada tipología por los índices de intensidad de uso de materiales mostrados en la tabla 2.7 (Mesta y Colegas 2018). Así mismo, para la obtención de los valores de la exposición en cada una de sus tres dimensiones se procede como se indica:

a: DALY Social, se obtiene mediante multiplicando los 60 años por el número de pobladores que corresponde al cálculo de la expectativa de vida de 92 años (proyectada para el año 2050) meno la edad promedio de individuo promedio en Peru de 32 años (INEI 2017).

b: DALY ambiental, se obtiene de la cuantificación de la huella de carbono de los materiales de construcción según cada tipología de edificación (tabla 29).

c: DALY económico, se obtiene de la división del valor de cada edificación entre el ingreso per cápita.

4 RESULTADOS

4.1 Resultados Retrospectivos

La relación de daños por tipo de infraestructura se muestra en la tabla 4.1:

Tabla 4.1: Inventario de daños por desastres en el Perú.

REPORTE DE DAÑOS DESASTRES

Información adecuada de ENDAN, INDECI, 1983,1997,1998, 2017; Felices; 2004, INEI 1981, 1993, 2005, 2007 Y 2017

Descripción	Unidad	El Niño, Perú: 1982-83	El Niño, Perú: 1997-98	El Niño, Perú: 2017	Terremoto Pisco: 2007
PÉRDIDAS SOCIALES					
Fallecidos Indirectos	personas	512	366	162	595
Desaparecidos	personas			19	-
Heridos	personas	1,304		500	2,044
Enfermos	personas	25,100	26,000		
Fallecidos indirectos	personas	8,500	8,000		
Total Damnificados	personas	1,267,730	549,000	285,955	392,106
Afectados	personas	1,300,000	549,000	1,559,487	169,668
PÉRDIDAS ECONÓMICAS					
	millón US\$	1,000	3,500	3,124	221
CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS					
TRANSPORTE					
Carreteras Dañadas/destruidas	Kms.	2,600	884	4,391	368
Carreteras Afectadas	Kms.		6,395	11,761	
Puentes Colapsados		55	59	489	3
Puentes afectados			89	881	
VIVIENDA					
Destruídas	unidades	98,000	42,342	66,093	34,672
Afectadas	unidades	111,000	108,000	371,370	84,958
CENTROS EDUCATIVOS					
Destruídas	unidades			354	605
Afectadas	unidades	875	2,873	3,266	614
Alumnos Afectados	meses	538,000	130,000		
CENTROS DE SALUD					
Destruídas	unidades		5	64	14
Afectadas	unidades	260	511	1,044	112
AGRO					
Area Destruída	has.	36,000	73,000	50,154	
Area Afectada	has.	84,000	131,000	107,827	

Los resultados del análisis retrospectivo de desastres muestran que los daños por el fenómeno de El Niño del 2017 fueron sensiblemente menores que los daños por los fenómenos de El Niño

de los periodos del 82-83 y del 97-98, que tuvieron, según la evaluación en DALY de todas las dimensiones del daño, una magnitud similar, como se muestra en la figura 4.1, en ella, se puede apreciar también que los tres últimos fenómenos de El Niño, han sido mayores en magnitud del desastre que el terremoto de Pisco del 2007 y a la vez inferiores a la magnitud de otros desastre internacionales que se muestran en el gráfico.

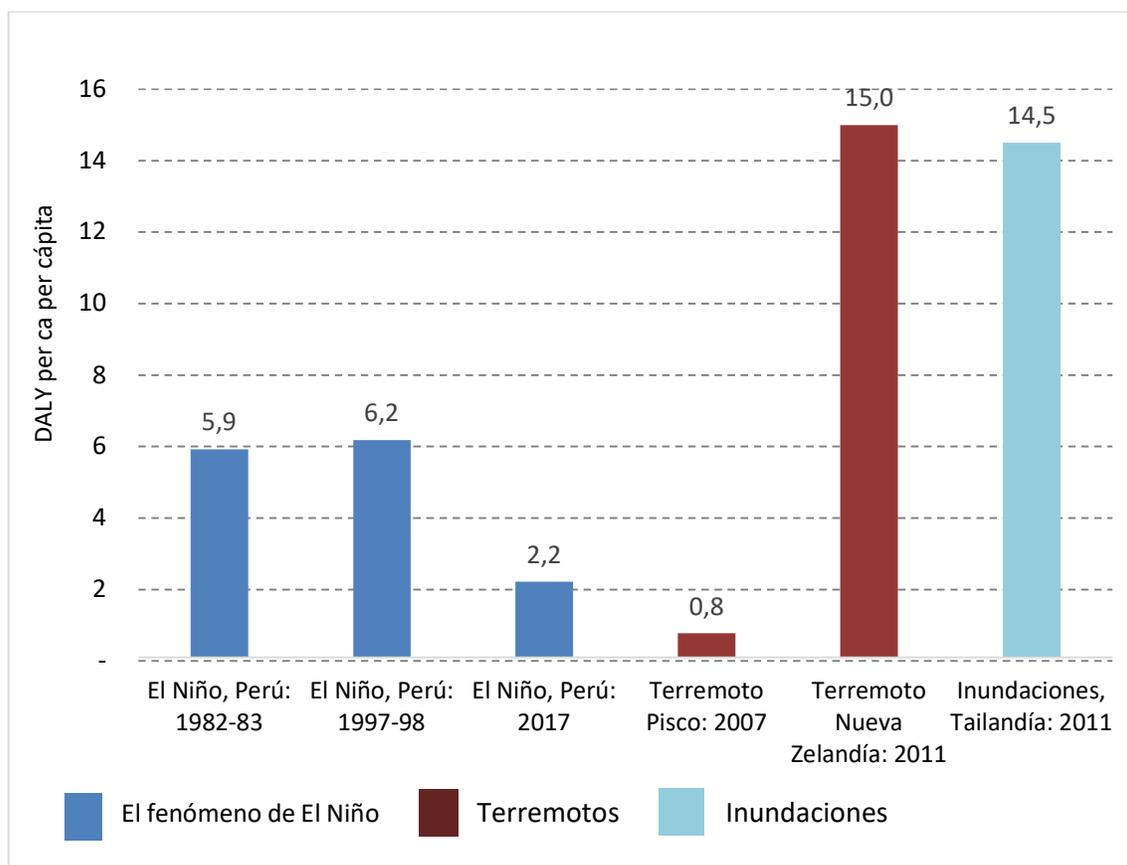


Figura 4.1: El costo en DALY (económico más social) per cápita de los eventos de El niño en el Perú y su comparación con otros desastres.

Así mismo, las pérdidas económicas fueron mayores en los eventos del 82-83 y 97-98 en relación a los del 2017 y 2007 como se muestra en la figura 4.2. Es relevante también observar que los daños sociales (fallecidos, heridos y afectados) han sido similar en todos los eventos analizados de EFN, a excepción de El Niño del 97-98 que tuvo un menor costo social. Finalmente, en relación a el fenómeno del Niño, se aprecia que los daños ambientales son mayores en proporción en un terremoto como el de Pisco en relación a EFN, lo que se explica, por la afectación de infraestructura con mayor intensidad de uso de materiales de construcción.

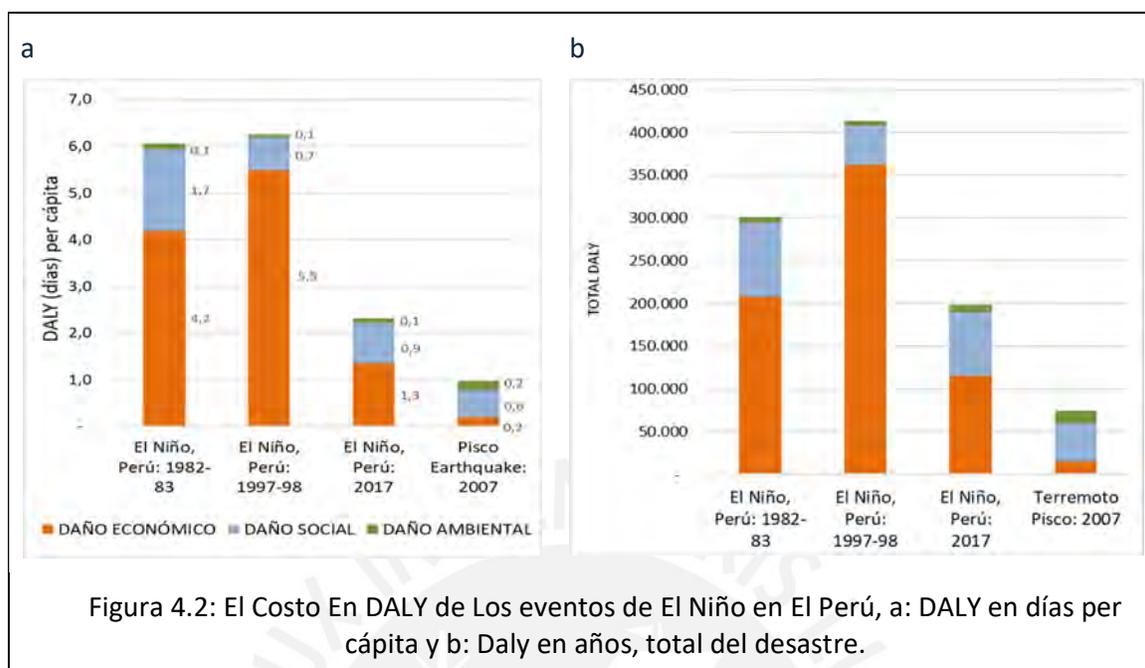


Figura 4.2: El Costo En DALY de Los eventos de El Niño en El Perú, a: DALY en días per cápita y b: Daly en años, total del desastre.

Tabla 4.2: Resultados de Daños Retrospectivos por daños de desastres pasados en el Perú.

DESCRIPCIÓN	El Niño, Perú: 1982-83	El Niño, Perú: 1997-98	El Niño, Perú: 2017	Terremoto Pischo: 2007	Unidad
DAÑO ECONÓMICO	207.918	362.254	115.410	15.239	DALY
DAÑO SOCIAL					
Mortandad directa	33.792	23.570	10.860	37.547	DALY
Morbilidad	52.650	22.235	63.159	6.872	DALY
	86.442	45.805	74.019	44.418	DALY
DAÑO AMBIENTAL					
Carreteras destruidas	1.179	401	1.990	167	DALY
Carreteras dañadas	-	580	1.066	-	DALY
Puentes destruidos	8	8	69	0	DALY
Puentes dañados	-	2	25	-	DALY
Viviendas destruidas	3.950	1.707	2.664	11.802	DALY
Viviendas afectadas	447	435	1.497	2.892	DALY
Centro Educativo destruido	-	-	117	200	DALY
Centro Educativo Afectado	58	190	216	41	DALY
Centro de Salud destruido	-	2	21	5	DALY
Centro de salud afectado	17	34	69	7	DALY
Área agrícola destruida	563	1.141	784	-	DALY
Área Agrícola Afectada	264	411	338	-	DALY
	6.485	4.911	8.856	15.113	
DAÑO TOTAL	300.845	412.969	198.285	74.770	DALY

4.2 Resultados Prospectivos

Los resultados de la evaluación prospectiva muestran que en el área expuesta al riesgo por inundaciones (pluviales y fluviales) en la zona urbana del distrito de Piura existe una exposición total de 9'515,066 DALY (61.88 años per cápita), de los cuales 9'225,120 DALY corresponden al componente Social de los 153,752 habitantes del distrito de Piura, 283,672 DALY del componente Económico y 6,274 DALY al componente ambiental como se muestran en las figura 4.4, este último es consecuencia de las existencias en el distrito de 7.37 millones de toneladas de concreto y mortero, 233,633 t de acero y 1.7 millones de toneladas de ladrillos como se muestran en las figura 4.3, conjunto de materiales que en su totalidad suman 58 toneladas per cápita.

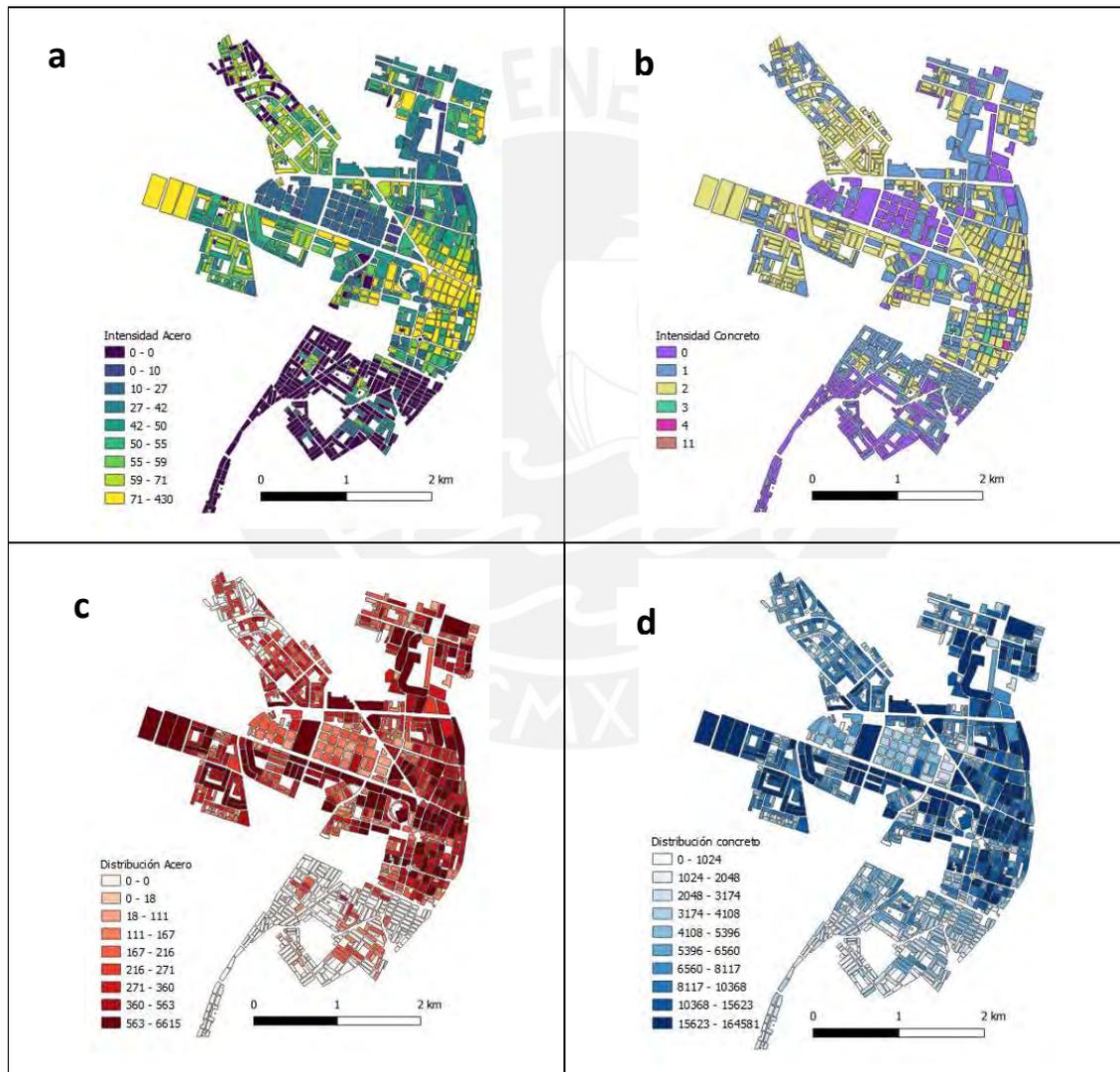


Figura 4.3, a: Intensidad de uso de acero en kgs/m² en el distrito de Piura; b: Intensidad de uso de concreto y mortero en kgs/m² en el distrito de Piura; c Distribución de acero en kgs/m² en el distrito de Piura, d Distribución de concreto y mortero en kgs/m² en el distrito de Piura.

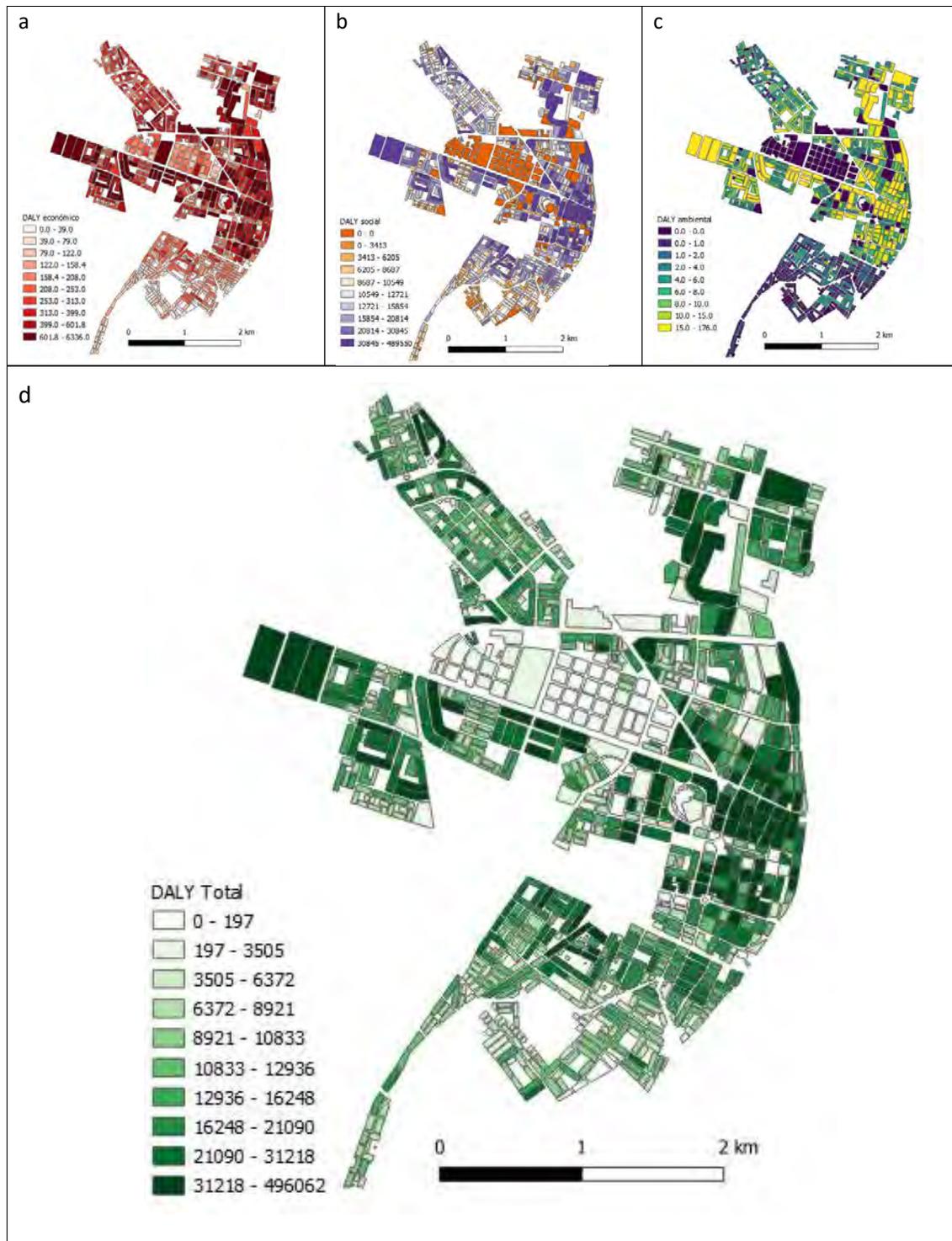


Figura 4.4, a: DALY Económico; b: DALY Social; c: DALY ambiental; d: DALY acumulado (económico, social y ambiental).

Los resultados mostrados en cuanto a el valor de existencias totales (stocks) por habitante en el distrito de Piura de 58 toneladas per cápita. son semejantes a los encontrados por Mesta y colegas (2018) para la cercana ciudad de Chiclayo que fueron de 49 toneladas per cápita.

4.3 Hallazgos Inesperados

Durante el proceso de revisión literaria y del desarrollo de esta investigación se han apreciado diversos aspectos relacionados con la gestión de riesgos en el Perú que considero relevantes profundizar a nivel científico y político para una adecuada mitigación de riesgos. Por la amplitud de cada tema, solo se detallarán los aspectos más relevantes a profundizar.

Los aspectos que se deben agendar son: La modificación de la metodología del cálculo de los periodos de retorno de lluvias extremas en la costa peruana, dado que estas se originan en dos fuentes diferentes (Pacífico durante eventos de El Niño) y Atlántico. El sistema de monitoreo y alarma del FEN, que actualmente se basa en indicadores de las zonas 3-4 y 1+2 del Pacífico central. El inventario de daños debería incluir información más detallada de los daños en cada desastre (p. ej., Que tipo de puentes son los colapsados, distinguir daños a los diferentes tipos de carreteras etc.). Finalmente se debería conformar un registro de viviendas vulnerable para evitar que se consideren viviendas destruidas a aquellas que ya tenían dicha condición antes del desencadenamiento de un peligro.



5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo de investigación ha propuesto la valoración del daño por desastres mediante el uso del indicador DALY para acumular las dimensiones sociales, económicas y ambientales. La metodología propuesta, fue aplicada de forma retrospectiva y prospectiva a la zona en riesgo por inundación del distrito de Piura. Las conclusiones del presente trabajo se presentan a continuación.

5.1 Conclusiones

Los resultados mostrados indican que el uso del indicador DALY, es aparente para ser usado en la valoración del daño por desastres, tanto de forma retrospectiva, para poder comparar la magnitud de desastres pasados, como de forma prospectiva, en la valoración de la exposición al peligro. La valoración prospectiva requerirá, en adicional del cálculo de las curvas de vulnerabilidad área cada dimensión del daño, así como las tasas de recurrencia del peligro, a efectos de poder estimar el riesgo.

El uso del indicador DALY para la medición del daño, comparar el daño ocasionado por un desastre en relación a otro de forma independiente de su temporalidad. En adicional, permite comparar la proporción de los daños en cada uno de sus tres dimensiones. A diferencia de la evaluación sólo económica relacionada con daños a la infraestructura, propone profundos cambios de paradigma, los que implicaran que las futuras gestiones de riesgos por desastres se basen en la compensación el DALY perdido más que en la reposición de las pérdidas económicas y la ayuda asistencialista a los afectados.

La medición de los daños por desastre en sus tres dimensiones: social, económica y ambiental, mediante la utilización de una unidad común: DALY, ofrece la posibilidad de tener un medio de valoración relativa en un evento en particular, al mismo tiempo, se viabiliza también la comparación entre un tipo de desastre originado por un evento recurrente (como lo es el fenómeno de El Niño) a lo largo del tiempo así como la comparación entre desastres con diferentes orígenes como pueden ser los terrenos y las inundaciones.

El DALY como unidad de medida, permitirá la elaboración de planos de riesgos de desastres con una valoración integral del daño, y, por lo tanto, viabilizará la adopción de mejores políticas públicas orientadas a la prevención, mitigación y/o recuperación de los daños por desastre tanto en el país como en el orbe. El presente trabajo de investigación, muestra en adicional que es posible la utilización de recursos gratuitos como el uso del software QGIS y la disposición de imágenes satelitales ráster para la cuantificación de la exposición al peligro, la misma que es la base para el cálculo posterior del riesgo mediante la aplicación de las curvas de vulnerabilidad para cada componente del riesgo y del periodo de retorno del evento analizado.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda la utilización de la unidad del DALY para la integración de los daños por desastre en las dimensiones sociales, económicas y ambientales, ocurridos y por ocurrir, como un mejor medio de valoración de estos.

El uso del indicador DALY, permitirá la orientación de las políticas públicas de gestión de riesgos de desastre, que deberán ser materializado mediante la elaboración de planos de riesgo en unidades de DALY, para cada dimensión del desastre y un plano integrado de valoración conjunta del mismo acorde con los pesos que la estrategia nacional defina en la ponderación de cada componente.

La presente propuesta metodológica, implicará un gran reto, puesto que la utilización del DALY como unidad de valoración, exigirá un conocimiento más detallado de la naturaleza de los daños por desastres en cada una de sus dimensiones, así por ejemplo deberemos conocer en el caso de daño social, no sólo el número de fallecidos por un evento determinado, sino cifras que contemplen la edad y sexo de cada uno, así como la información estadística de las afectaciones a la salud de cada herido por desastres (número de días de hospitalización, naturaleza y secuelas de la afectación etc.), para poder cuantificar la pérdida no sólo de fallecidos, sino también, de los años de vida o calidad de la misma, perdida por los afectados.

Este reto exigirá también la elaboración de análisis de vulnerabilidad para cada una de las dimensiones del daño que se evaluará. Solo así, se podrá reflejar cada tipo de daño que puede ocurrir. De igual forma, la métrica de la dimensión del daño ambiental y económico directo, exigirá, un inventario detallado de cada tipo de activo perdido como viviendas, carreteras, puentes, escuelas centros de salud y otros para cuantificar en adicional a la pérdida económica y, el costo de reposición en términos de potencial impacto ambiental, en la categoría de Calentamiento Global. De esta forma, como sociedad, podremos actuar en concordancia con la expectativa de salvaguardar el bienestar de la población y su calidad de vida a futuro.

Finalmente, hoy en día el Perú cuenta con un satélite con capacidad de adquirir imágenes ráster con una resolución 100 veces mayor que las utilizadas para esta investigación, por lo que la elaboración de planos de exposición a los diferentes peligros de origen natural que enfrenta nuestro país debiese ser mucho más precisa que los acá obtenidos, y viabilizarían la obtención de valoración de riesgos en zonas del país donde no necesariamente se cuenta con información catastral detallada en formatos GIS.

La adopción de las propuestas realizadas, permitirá que la gestión de riesgo de desastres en nuestro país sea sostenible, y exigirá la adopción de políticas públicas de prevención, mitigación y compensación de los daños, considerando la afectación social más allá del asistencialismo, así como el daño ambiental a consecuencia de la reposición de los activos dañados que promoverá el calentamiento global que exacerbará más aún el clima.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arboleda, C., Dario, O., & Horia, Á. (2002). Capítulo 2 Conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*, 16. Recuperado de <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6219/04Capitulo2.PDF>
- Ashok, K., Behera, S. K., Rao, S. A., Weng, H., & Toshio Yamagata. (2007). El Niño Modoki and its teleconnection. *Geophysical Research Letters*.
- B. Field, C., R. Barros, V., Jon Dokken, D., J. Mach, K., & D. Mastrandrea, M. (2014). Cambio Climático 2014. *Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Recuperado de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgll_spm_es.pdf
- B. Müller, D. (2005). Stock dynamics for forecasting material flows—Case study for housing in The Netherlands. *Synthesis*, 59(February 2006), 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.eco>
- Bakkensen, L. A., Fox-Lent, C., Read, L. K., & Linkov, I. (2017). Validating Resilience and Vulnerability Indices in the Context of Natural Disasters. *Risk Analysis*, 37(5), 982–1004. <https://doi.org/10.1111/risa.12677>
- Belakang, A. L. (2001). (Disability Adjusted Life Years) .
- Biberos, K. (2018). ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA COMPARATIVO DE LA CARRETERA TINGO – KUÉLAP (AM-111) Y EL SISTEMA DE TELECABINAS HACIA LA ZONA ARQUEOLÓGICA MONUMENTAL KUÉLAP.
- Blake, E. S., & Zelinsky, D. A. (2018). Hurricane Harvey. *National Hurricane Center Tropical Cyclone Report*, (January), 1–76. <https://doi.org/AL092017>
- Cao, Z., Shen, L., Zhong, S., Liu, L., Kong, H., & Sun, Y. (2018). A Probabilistic Dynamic Material Flow Analysis Model for Chinese Urban Housing Stock. *Journal of Industrial Ecology*, 22(2), 377–391. <https://doi.org/10.1111/jiec.12579>
- CENEPRED. (2012a). “Escenarios De Riesgos Ante La Probabilidad De Ocurrencia Del Fenómeno El Niño”, 1–32.
- CENEPRED. (2012b). Guia Didactica. Ley del SINAGERD, 18.
- CENEPRED. (2014a). Manual para la evaluación de riesgos originados por Fenómenos Naturales 02 Versión, 245. Recuperado de http://www.sigpad.gov.co/sigpad/paginas_detalle.aspx?idp=112
- CENEPRED. (2014b). Manual para la evaluación de riesgos originados por inundaciones fluviales.
- CENEPRED. (2014c). Manual para la evaluación de riesgos originados por inundaciones fluviales. Recuperado de <http://www.cenepred.gob.pe/web/descargas/MANUAL-EVAR.INUNDACIONES.pdf>
- CENEPRED. (2014d). *NORMAS E INSTRUMENTOS TÉCNICOS PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES EN EL PERÚ*.
- CEPAL. (2007). Manual para la Evaluación de Desastres. *Journal of Experimental Psychology: General*.
- CEPAL. (2014). Manual para la Evaluación de Desastres.

- Chen, A., Jacobsen, K. H., Deshmukh, A. A., & Cantor, S. B. (2015). The evolution of the disability-adjusted life year (DALY). *Socio-Economic Planning Sciences*, 49, 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2014.12.002>
- Choquehuanca Solorzano, N. E. (2012). Evaluación de Riesgo de Inundaciones Basado Sobre GIS y Modelamiento Hidráulico (Hec-GeoRas), 37.
- D.S. N° 048-2011-PCM. (2011). Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de la Ley N° 29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), 23.
- Darío, O., & Arboleda, C. (2008). Medición de la gestión del riesgo en América Latina. *Revista Internacional Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo.*, (Número 3), 1–20.
- de Almeida, G. A. M., Bates, P., & Ozdemir, H. (2018). Modelling urban floods at submetre resolution: challenges or opportunities for flood risk management? *Journal of Flood Risk Management*, 11, S855–S865. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12276>
- Defra, & Environment Agency. (2006). Flood Risks to People - Phase 2 - FD2321/TR2 Guidance Document, 91. Recuperado de <http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Module=More&Location=None&ProjectID=12016>
- Departamento Nacional de Planeación. (2011). Sostenibilidad ambiental y prevención del riesgo. *Plan Nacional de Desarrollo 2010 - 2014. "Prosperidad para todos"*, 423–468.
- Devleesschauwer, B., Havelaar, A. H., Maertens De Noordhout, C., Haagsma, J. A., Praet, N., Dorny, P., ... Speybroeck, N. (2014). Calculating disability-adjusted life years to quantify burden of disease. *International Journal of Public Health*, 59(3), 565–569. <https://doi.org/10.1007/s00038-014-0552-z>
- Donev, D., & Lijana, Z. K. (2010). METHODS AND TOOLS IN PUBLIC HEALTH A Handbook for Teachers , Researchers and Health Professionals Title MEASURING THE BURDEN OF DISEASE : DISABILITY ADJUSTED LIFE YEARS (DALY) MEASURING THE BURDEN OF DISEASE : DISABILITY ADJUSTED LIFE YEARS (DALY), (May 2014).
- ENFEN. (2017). Comité Multisectorial Encargado Del Estudio Nacional Del Fenómeno El Niño, (Figura 03), 9–10. Recuperado de http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_infntco_informe__tecnico_extraordinario_001_2017.pdf
- Fan, Y., Wen, Q., Wang, W., Wang, P., Li, L., & Zhang, P. (2017). Quantifying Disaster Physical Damage Using Remote Sensing Data—A Technical Work Flow and Case Study of the 2014 Ludian Earthquake in China. *International Journal of Disaster Risk Science*, 8(4), 471–488. <https://doi.org/10.1007/s13753-017-0143-8>
- Fishman, T. (2016). Material stock accumulation in society : modeling , forecasts , and socio-economic drivers. Recuperado de <http://ir.nul.nagoya-u.ac.jp/jspui/handle/2237/24343>
- Gallardo, C., Sandberg, N. H., & Brattebo, H. (2014). Dynamic-MFA examination of Chilean housing stock: Long-term changes and earthquake damage. *Building Research and Information*, 42(3), 343–358. <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.872547>
- García-Torres, S., Kahhat, R., & Santa-Cruz, S. (2017). Methodology to characterize and quantify debris generation in residential buildings after seismic events. *Resources, Conservation and Recycling*, 117, 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.006>

- Gheorghe, M. (2012). Risk Management in the Context of Sustainable Development. *Annals of the University of Oradea, Economic Science Series*, 21(1), 1248–1254. Recuperado de <http://eserv.uum.edu.my/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=86068892&site=ehost-live&scope=site>
- Gosling, S. ., Dunn, R., Carrol, F., Christidis, N., Fullwood, J., de Gusmao, D., ... Warren, R. (2011). Climate: Observations, projections and impacts. *MetOffice*.
- Gracia, A., Godé, L., Crego, E., Arrabal, M. A., Guirado, V., García, G., ... Martínez, E. (2007). Riesgos y cuantificación de daños por inundación.
- Guo, Z., Hu, D., Zhang, F., Huang, G., & Xiao, Q. (2014). An integrated material metabolism model for stocks of Urban road system in Beijing, China. *Science of the Total Environment*, 470–471, 883–894. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.041>
- Hardy, S., & Robert, J. (2009). ¿Qué podemos aprender de los estudios de caso? *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 38(3), 573–591. <https://doi.org/10.4000/bifea.2344>
- Hashimoto, S., Tanikawa, H., & Moriguchi, Y. (2009). Framework for estimating potential wastes and secondary resources accumulated within an economy - A case study of construction minerals in Japan. *Waste Management*, 29(11), 2859–2866. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.011>
- Heeren, N., & Hellweg, S. (2018). Tracking Construction Material over Space and Time: Prospective and Geo-referenced Modeling of Building Stocks and Construction Material Flows. *Journal of Industrial Ecology*, 00(0). <https://doi.org/10.1111/jiec.12739>
- Hernández-Vásquez, A., Arroyo-Hernández, H., Bendezú-Quispe, G., Díaz-Seijas, D., Vilcarromero, S., Rubilar-González, J., & Gutierrez-Lagos, E. (2016). Potential vulnerability to flooding at public health facilities in four northern regions of Peru. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 33(1), 92–99. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2016.331.2012>
- Hijazi, I., Ebert, V., Donaubaauer, A., & Kolbe, T. H. (2018). Combining urban metabolism methods and semantic 3D city models. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(4/W10), 63–70. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W10-63-2018>
- Hirabayashi, Y., Kanae, S., Emori, S., Oki, T., & Kimoto, M. (2008). Global projections of changing risks of floods and droughts in a changing climate. *Hydrological Sciences Journal*, 53(4), 754–772. <https://doi.org/10.1623/hysj.53.4.754>
- Hirayama, N., Shimaoka, T., Fujiwara, T., Okayama, T., & Kawata, Y. (2010). Establishment of disaster debris management based on quantitative estimation using natural hazard maps. *Waste Management and the Environment*, 140, 167–178. <https://doi.org/10.2495/WM100161>
- Hocquenghem, A.-M., & Ortlieb, L. (1992). Eventos El Niño y lluvias anormales en la costa del Perú: siglos XVI-XIX. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 21(1), 197–278.
- Hore, K., Kelman, I., Mercer, J., & Gaillard, J. (2019). Climate change and disasters. *Climate Change and Urban Health*, 2015, 63–92. <https://doi.org/10.4324/9780429427312-4>
- Huisman, J., Leroy, P., Tertre, F., Söderman, M. L., Chancerel, P., Cassard, D., ... Emmerich, J. (2017). *Prospecting Secondary Raw Materials in the Urban Mine and mining wastes*

(ProSUM) - Final Report.

- Huong, H. T. L., & Pathirana, A. (2013). Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(1), 379–394. <https://doi.org/10.5194/hess-17-379-2013>
- INDECI. (2006a). COMPENDIO ESTADÍSTICO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES 2006.
- INDECI. (2017). Información de emergencias y daños producidos por el “Niño Costero” 07 Agosto 2017 (Procesamiento al 96%). *Reporte Niño Costero 2017, 2017*, 17. Recuperado de <https://www.indeci.gob.pe/objetos/noticias/NTY=/NTE1Mw==/fil20170912123201.pdf>
- INDECI, I. N. de D. C. (2006b). Manual básico para la estimación del riesgo.
- Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, & Centro Nacional de Modelamiento-CNM. (2017). *Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación. p. 16, 20,40-42,52 Bogotá D.C. Colombia.*
- Ioppolo, G., Cucurachi, S., Salomone, R., Shi, L., & Yigitcanlar, T. (2018). Integrating strategic environmental assessment and material flow accounting : a novel approach for moving towards sustainable urban futures.
- ISRAM. (2014). Proceedings of the International Symposium on Flood Research and Management. *Springer*.
- Jaiswal, K. S., & Wald, D. J. (2008). Creating a Global Building Inventory for Earthquake Loss Assessment and Risk Management: U.S. Geological Survey Open-File Report, 1160(2000), 113.
- Jonkman, S., & Dawson, R. (2012). Issues and Challenges in Flood Risk Management—Editorial for the Special Issue on Flood Risk Management. *Water*, 4(4), 785–792. <https://doi.org/10.3390/w4040785>
- Jonkman, S. N., Godfroy, M., Sebastian, A., & Kolen, B. (2018). Brief communication: Loss of life due to Hurricane Harvey. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(4), 1073–1078. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-1073-2018>
- Kennedy, C., Pincetl, S., & Bunje, P. (2011). The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental Pollution*, 159(8–9), 1965–1973. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.022>
- Kleemann, F., Lederer, J., Aschenbrenner, P., Rechberger, H., & Fellner, J. (2016). A method for determining buildings material composition prior to demolition. *Building Research and Information*, 44(1), 51–62. <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.979029>
- Kleemann, F., Lehner, H., Szczypińska, A., Lederer, J., & Fellner, J. (2017). Using change detection data to assess amount and composition of demolition waste from buildings in Vienna. *Resources, Conservation and Recycling*, 123, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.010>
- Kohler, N., & Hassler, U. (2002). The building stock as a research object. *Building Research and Information*, 30(4), 226–236. <https://doi.org/10.1080/09613210110102238>
- Kreft, S., Eckstein, D., & Melchior, I. (2017). *Kreft et al (2016) Global Climate Risk Index*. <https://doi.org/978-3-943704-04-4>

- Lavado-casimiro, W., & Espinoza, J. C. (2014). IMPACTOS DE EL NIÑO Y LA NIÑA EN LAS LLUVIAS DEL PERÚ (1965-2007) Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y Universidad Nacional Agraria La Molina , Instituto Geofísico del Peru y Universidad Nacional Agraria La Molina , Lima , Peru. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29(2), 171–182. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000200003>
- Lavado, W., Silvestre, E., & Obando, F. (2009). Impacto de ENOS en la Hidrología del Perú (1968-2006). *Revista Peruana Geo Atmosférica*, 57(1), 48–57. Recuperado de http://www.senamhi.gob.pe/rpga/pdf/2009_vol01/art5.pdf
- Lederer, J., Kleemann, F., Ossberger, M., Rechberger, H., & Fellner, J. (2016). Prospecting and Exploring Anthropogenic Resource Deposits: The Case Study of Vienna’s Subway Network. *Journal of Industrial Ecology*, 20(6), 1320–1333. <https://doi.org/10.1111/jiec.12395>
- M. D. Gerst and T. E. Graedel. (2005). *METAL STOCKS IN SOCIETY*.
- Machuca R., Takahashi K., M. A. G. (2014). Daños personales y materiales por inundaciones en temporada de lluvias, según las categorías El Niño costero en el norte peruano 1994-2012, 1, 4–8. Recuperado de http://www.met.igp.gob.pe/publicaciones/Divulgacion_PPR_El_Nino_IGP_201412.pdf
- Marcellus-Zamora, K. A., Gallagher, P. M., Spatari, S., & Tanikawa, H. (2016). Estimating Materials Stocked by Land-Use Type in Historic Urban Buildings Using Spatio-Temporal Analytical Tools. *Journal of Industrial Ecology*, 20(5), 1025–1037. <https://doi.org/10.1111/jiec.12327>
- Masson-delmotte, V. (2017). Climate and climate change sciences : 30 years of IPCC assessment reports.
- Mastrucci, A., Marvuglia, A., Leopold, U., & Benetto, E. (2017). Life Cycle Assessment of building stocks from urban to transnational scales: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74(September 2016), 316–332. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.060>
- May, U., Esworthy, R., Schierow, L., Copeland, C., Luther, L., & Ramseur, J. L. (2006). CRS Report for Congress Cleanup After Hurricane Katrina :
- Meesuk, V., Vojinovic, Z., & Mynett, A. E. (2017). Extracting inundation patterns from flood watermarks with remote sensing SfM technique to enhance urban flood simulation: The case of Ayutthaya, Thailand. *Computers, Environment and Urban Systems*, 64, 239–253. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.03.004>
- Mesta, C., Kahhat, R., & Santa-Cruz, S. (2018). Geospatial Characterization of Material Stock in the Residential Sector of a Latin-American City. *Journal of Industrial Ecology*, 00(0), 1–12. <https://doi.org/10.1111/jiec.12723>
- Miatto, A., Schandl, H., & Tanikawa, H. (2017). How important are realistic building lifespan assumptions for material stock and demolition waste accounts? *Resources, Conservation and Recycling*, 122, 143–154. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.015>
- Murray, C. J. L., Lopez, A. D., & Jamison, D. T. (1994). The global burden of disease in 1990: Summary results, sensitivity analysis and future directions. *Bulletin of the World Health Organization*, 72(3), 495–509.
- Nguyen, T. C., Fishman, T., Miatto, A., & Tanikawa, H. (2018). Estimating the Material Stock of Roads - The Vietnamese Case Study, 00(0), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jiec.12773>

- Noy, I. (2015). Background Paper Prepared for the 2015 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, (February 2011).
- Noy, I. (2016). A Global Comprehensive Measure of the Impact of Natural Hazards and Disasters. *Global Policy*, 7(1), 56–65. <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12272>
- Olga, L. (2011). Guía Metodológica para Incorporar la Gestión del Riesgo de Desastres en la Planificación del Desarrollo, 116.
- ONU. (2014). Análisis de la implementación de la Gestión del Riesgo de Desastres en el Perú, 103. Recuperado de <http://onu.org.pe/wp-content/uploads/2014/08/Análisis-de-la-implementación-de-la-Gestión-del-Riesgo-de-Desastres-en-el-Perú.pdf>
- ONU Habitat. (2009). UN-HABITAT Brochure. *Onu-Hábitat - Por Un Mejor Futuro Urbano*, 1–24. Recuperado de http://www.un.org/es/events/habitatday/pdfs/ONU-HABITAT_brochure.pdf
- Ortlepp, R., & Deilmann, C. (2015). The other “half of the city” – analysis of non-residential building stock and its materials. *Sasbe 2015*, 271–280.
- Ortlieb, L., & Macharé, J. (1993). Former El Niño events: records from western South America. *Global and Planetary Change*, 7(1–3), 181–202. [https://doi.org/10.1016/0921-8181\(93\)90049-T](https://doi.org/10.1016/0921-8181(93)90049-T)
- Österbring, M. (2016). Thesis for the degree of licentiate of engineering. Recuperado de <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/235187/235187.pdf>
- Parodi, E. (2016). *Recarga del Acuífero de Lima mediante Aguas Residuales Tratadas*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Perozo-Ynestroza, M. A. (2009). Metodologías para cuantificar el riesgo de inundación en planicies inundables. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, XXX(3), 11–20.
- Quinn, W. H., Neal, V. T., & Antunez de Mayolo, S. (1987). El Niño Occurrences Over the Past Four and a Half Centuries, 92.
- Ran, J., & Nedovic-Budic, Z. (2016). Integrating spatial planning and flood risk management: A new conceptual framework for the spatially integrated policy infrastructure. *Computers, Environment and Urban Systems*, 57, 68–79. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.01.008>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española, 23.ª ed., [versión 23.3 en línea]. <<https://dle.rae.es>> [01-05-2020]
- Reyna, J. L., & Chester, M. V. (2015). The Growth of Urban Building Stock: Unintended Lock-in and Embedded Environmental Effects. *Journal of Industrial Ecology*, 19(4), 524–537. <https://doi.org/10.1111/jiec.12211>
- Santa Cruz, S. (2017). Probabilistic Seismic Loss Assessment of Retrofitted Public Schools and Modern Buildings in Peru.
- Sayers, P., Galloway, G., Penning-Roswell, E., Le Quense, T., Wang, L., & Guan, Y. (2012). Flood risk management : A strategic approach, 1–9.
- Schiller, G., Müller, F., & Ortlepp, R. (2017). Mapping the anthropogenic stock in Germany: Metabolic evidence for a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 123,

93–107. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.08.007>

- Schulz, K., & Bernhardt, M. (1996). The end of trend-estimation for extreme floods under climate change? *Trends in Amplification*, 1(4), 121–135. <https://doi.org/10.1002/hyp.10816>
- SENAMHI. (2014). El fenómeno EL NIÑO en el Perú. *El fenomeno El Niño en el Peru*, 24. Recuperado de http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Niño-Final_web.pdf
- SINAGERD. (2014). PLAN DE ACCIONES EN GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES PRIORIZADAS PARA EL PERIODO 2015-2016.
- Stadelmann, M., Michaelowa, A., Butzengeiger-Geyer, S., & Köhler, M. (2015). Universal metrics to compare the effectiveness of climate change adaptation projects. *Handbook of Climate Change Adaptation*, (April), 2143–2160. https://doi.org/10.1007/978-3-642-38670-1_99
- Stefanidis, S., & Stathis, D. (2013). Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP). *Natural Hazards*, 68(2), 569–585. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0639-5>
- Stephan, A., & Athanassiadis, A. (2017). Quantifying and mapping embodied environmental requirements of urban building stocks. *Building and Environment*, 114, 187–202. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.043>
- Stephan, A., & Athanassiadis, A. (2018). Towards a more circular construction sector: Estimating and spatialising current and future non-structural material replacement flows to maintain urban building stocks. *Resources, Conservation and Recycling*, 129(April 2017), 248–262. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.022>
- Sulca, J., Takahashi, K., Espinoza, J. C., Vuille, M., & Lavado-Casimiro, W. (2018). Impacts of different ENSO flavors and tropical Pacific convection variability (ITCZ, SPCZ) on austral summer rainfall in South America, with a focus on Peru. *International Journal of Climatology*, 38(1), 420–435. <https://doi.org/10.1002/joc.5185>
- Sun, Y., Xie, S., & Zhao, S. (2019). Valuing urban green spaces in mitigating climate change: A city-wide estimate of aboveground carbon stored in urban green spaces of China's Capital. *Global Change Biology*, 25(5), 1717–1732. <https://doi.org/10.1111/gcb.14566>
- Takahashi, K., Montecinos, A., Goubanova, K., & Dewitte, B. (2011). ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño. *Geophysical Research Letters*, 38(10). <https://doi.org/10.1029/2011GL047364>
- Tanikawa, H., Fishman, T., Okuoka, K., & Sugimoto, K. (2015). The weight of society over time and space: A comprehensive account of the construction material stock of Japan, 1945–2010. *Journal of Industrial Ecology*, 19(5), 778–791. <https://doi.org/10.1111/jiec.12284>
- Tanikawa, H., & Hashimoto, S. (2009). Urban stock over time: Spatial material stock analysis using 4d-GIS. *Building Research and Information*, 37(5–6), 483–502. <https://doi.org/10.1080/09613210903169394>
- Tanikawa, H., Managi, S., & Lwin, C. M. (2014). Estimates of Lost Material Stock of Buildings and Roads Due to the Great East Japan Earthquake and Tsunami. *Journal of Industrial Ecology*, 18(3), 421–431. <https://doi.org/10.1111/jiec.12126>

- Teng, J., Jakeman, A. J., Vaze, J., Croke, B. F. W., Dutta, D., & Kim, S. (2017). Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. *Environmental Modelling and Software*, 90, 201–216. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.01.006>
- Thorlacius, S. (s/f). Life Cycle Assessment of the environmental impact of roads and bridges in Iceland The Icelandic Road and Coastal Administration * (IRCA).
- Tobergte, D. R., & Curtis, S. (2013). Riesgos de inundación. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 189. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Treitz, P. M., Howarth, P. J., & Peng Gong. (1992). Application of satellite and GIS technologies for land-cover and land-use mapping at the rural-urban fringe: a case study. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*.
- Tsonis, A. (2009). *The Little Boy Lost*.
- U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE. (2017). August / September 2017 Hurricane Harvey, (September).
- UNESCO. (2012). *Managing Water under Uncertainty and Risk. UN Water Reports* (Vol. 1). Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002156/215644e.pdf>
- UNISDR. (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 - 2030. *Third World Conference on Disaster Risk Reduction, Sendai, Japan, 14-18 March 2015.*, (March), 1–25. <https://doi.org/A/CONF.224/CRP.1>
- United Nations - Department of Economic and Social Affairs. (2013). Chapter III: Towards sustainable cities. *World Economic and Social Survey 2013*, 53–84. <https://doi.org/10.1080/08111140008727833>
- Vargas, J. E. (2002). *Políticas públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio-naturales*. Recuperado de repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5749/S2002612.pdf?sequence=1
- Vázquez-Rowe, I., Kahhat, R., & Lorenzo-Toja, Y. (2017). Natural disasters and climate change call for the urgent decentralization of urban water systems. *Science of the Total Environment*, 605–606, 246–250. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.222>
- Velásquez A, Cachay C, Poquioma E, Espinoza R, S. Y. (2009). *La carga de Enfermedad y Lesiones en el Perú*.
- Verán Leigh, D. (2017). *EVALUACIÓN AMBIENTAL DE UN TRAMO ESPECÍFICO DE LA AUTOPISTA PANAMERICANA SUR, USANDO LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA* Tesis. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.
- Wang, Y., Chen, P. C., Ma, H. wen, Cheng, K. L., & Chang, C. Y. (2018). Socio-economic metabolism of urban construction materials: A case study of the Taipei metropolitan area. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 563–571. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.08.019>
- Ward, P. J., Jongman, B., Kumm, M., Dettinger, M. D., Sperna Weiland, F. C., & Winsemius, H. C. (2014). Strong influence of El Nino Southern Oscillation on flood risk around the world. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(44), 15659–15664. <https://doi.org/10.1073/pnas.1409822111>
- Wicht, M., & Osinska-Skotak, K. (2016). Identifying urban areas prone to flash floods using GIS

&ndash; preliminary results. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, (October), 1–22. <https://doi.org/10.5194/hess-2016-518>

WMO. (2018). WMO Statement on the State of the Global Climate in 2017. *World Meteorological Organization*, (1108), 1108. <https://doi.org/978-92-63-11212-5>

Yu, B., Deng, S., Liu, G., Yang, C., Chen, Z., Hill, C. J., & Wu, J. (2018). Nighttime Light Images Reveal Spatial-Temporal Dynamics of Global Anthropogenic Resources Accumulation above Ground. *Environmental Science and Technology*, 52(20), 11520–11527. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02838>

Zank, B., Bagstad, K. J., Voigt, B., & Villa, F. (2016). Modeling the effects of urban expansion on natural capital stocks and ecosystem service flows: A case study in the Puget Sound, Washington, USA. *Landscape and Urban Planning*, 149, 31–42. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.01.004>

