

# Natural Hazards & Climate Change

## Editors

Santamarta Cerezal, Juan C.

Hernández-Gutiérrez, Luis E.

Arraiza Bermudez-Cañete, M<sup>a</sup> P.



## Editores

Santamarta Cerezal, Juan C.

Hernández-Gutiérrez, Luis E.

Arraiza Bermudez-Cañete, M<sup>a</sup> P.

# Riesgos Naturales y Cambio Climático

# Natural Hazards & Climate Change

## Riesgos Naturales y Cambio Climático

### EDITED BY

**Santamarta Cerezal, Juan C.**

Universidad de La Laguna, Canary Islands, Spain

**Hernández-Gutiérrez, Luis E.**

Gobierno de Canarias, Canary Islands, Spain

**Arraiza Bermúdez-Cañete, M<sup>a</sup> Paz**

Universidad Politécnica de Madrid, Spain



**Colegio de  
Ingenieros de Montes**

# Natural Hazards & Climate Change

## Riesgos Naturales y Cambio Climático

© 2014 The Authors.

Published by: Colegio de Ingenieros de Montes  
Calle Cristóbal Bordiú, 19 28003 Madrid  
Phone +34 915 34 60 05  
colegio@ingenierosdemontes.org

Depósito Legal: TF 565-2014  
ISBN: 978-84-617-1060-7  
211 pp. ; 24 cm.  
1 Ed: july, 2014



This work has been developed in the framework of the RECLAND Project. It has been funded by the European Union under the Lifelong Learning Programme, Erasmus Programme: Erasmus Multilateral Projects, 526746-LLP-1-2012-1-ES-ERASMUS-EMCR, MSc Programme in Climate Change and Restoration of Degraded Land.

How to cite this book;

Santamarta, J.C., Hernández-Gutiérrez, L.E., Arraiza, M.P., (ed.) (2014). *Natural Hazards & Climate Change/ Riesgos Naturales y Cambio Climático*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Montes.

Designed by  
Alba Fuentes Porto

This book was peer-reviewed

This book is intended for educational and scientific purposes only

# Contents / Contenido

PREFACE / PRÓLOGO.....	5
<b>PART 1. INTRODUCTION AND BASIC CONCEPTS /</b> PARTE 1. INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS BÁSICOS	
CHAPTER 1 / CAPÍTULO 1	
Natural Hazards, an Introduction: Floods, Earthquakes and Tsunamis. <i>Luis E. Hernández-Gutiérrez</i> .....	9
CHAPTER 2 / CAPÍTULO 2	
Geological Hazards: Volcanic Eruptions. <i>Luis E. Hernández-Gutiérrez</i> .....	25
CHAPTER 3 / CAPÍTULO 3	
Landslide Hazards. <i>Luis E. Hernández-Gutiérrez</i> .....	41
CHAPTER 4 / CAPÍTULO 4	
Environmental Restoration. <i>Juan C. Santamarta, Jonay Neris, Jesica Rodríguez-Martín</i> .....	53
CHAPTER 5 / CAPÍTULO 5	
Sediment & Erosion Control, Future Challenges. <i>Juan C. Santamarta, Jesica Rodríguez-Martín</i> .....	65
<b>PART 2. CASE STUDIES AND APPLICATIONS /</b> PARTE 2. ESTUDIO DE CASOS Y APLICACIONES	
CHAPTER 6 / CAPÍTULO 6	
Cambio climático e incendios de 5ª generación. <i>Néstor Padrón Castañeda, Jesús Barranco Reyes</i> .....	81

---

CHAPTER 7 / CAPÍTULO 7

Forest ecosystems, sewage works and droughts – possibilities for climate change adaptation. *Gálos B., Antal V., Czimber K. and Mátyás Cs.*.....91

CHAPTER 8 / CAPÍTULO 8

Polluted Soil Restoration. *Henn Korjus* ..... 105

CHAPTER 9 / CAPÍTULO 9

Análisis espacial de la evolución de los cambios de uso de suelo y vegetación, mediante tele-detección y SIG en el tramo medio del río Jarama. *Bernabe A. V., Riesco J.A.; Giménez M.C. y García J.L.* ..... 113

CHAPTER 10 / CAPÍTULO 10

Estudio del daño estructural y del posterior refuerzo de un edificio afectado por asientos inducidos por la subsidencia causada por un descenso del nivel piezométrico. *Esteban Díaz, Pedro Robles, Roberto Tomás* ..... 125

CHAPTER 11 / CAPÍTULO 11

Determinación de deformaciones milimétricas del terreno mediante geodesia astronómica. *Itahisa González Álvarez, Antonio Eff-Darwich Peña, M. Jesús Arévalo Morales*..... 143

CHAPTER 12 / CAPÍTULO 12

Forestry and Field Plant Production Technologies in Environmental Life-Cycle Thinking. *András Polgár, Judit Pécsinger, Edit Pintérné Nagy, Veronika Elekné Fodor, János Rumpf, Katalin Szakálosné Mátyás, Attila László Horváth, Tamás Bazsó*.....155

CHAPTER 13 / CAPÍTULO 13

Efectos económicos de la valorización de los lodos obtenidos en los procesos de depuración de aguas residuales. *Ruiz-Rosa, I., Rodríguez-Gómez, L.E., García-Rodríguez, F.J.*..... 175

CHAPTER 14 / CAPÍTULO 14

Simple Geospatial Data Collecting Methods for Environment Change. *Tamás Bazsó, Péter Primusz*..... 189

CHAPTER 15 / CAPÍTULO 15

La lucha contra el cambio climático en el Derecho español: el ejemplo de la legislación de costas. *Luis Javier Capote Pérez* ..... 199

# Preface / Prólogo

Los desastres naturales de origen geológico, meteorológico o antrópico (erupciones volcánicas, terremotos, inestabilidad e laderas, inundaciones, huracanes, tsunamis, incendios), no sólo suponen un serio riesgo para los habitantes de nuestro planeta, sino que representan una amenaza real que influye de manera negativa en el desarrollo económico y social de una región. Su conocimiento y estudio contribuyen a la mitigación del riesgo y puede suponer un coste ínfimo frente a las enormes pérdidas materiales y humanas de su no consideración. La formación en materia de riesgos naturales de los residentes en zonas vulnerables, de los agentes sociales, de la comunidad científica y de las autoridades, es fundamental para la reducción y prevención de los efectos de estos desastres naturales.

La morfología y estructura actual de La Tierra es el producto de multitud de procesos dinámicos, desarrollados a lo largo de miles de millones de años, entre los que se encuentran las erupciones volcánicas, los movimientos corticales verticales y horizontales y otros procesos geológicos e incluso extraplanetarios, que han modelado la superficie terrestre lentamente o aceleradamente en ocasiones. En esta publicación se presenta, con intención de aportar a la sociedad una herramienta más para el conocimiento e intervención ante este tipo de procesos

La actividad humana contribuye notablemente a la degradación ambiental, provocando la aceleración de los fenómenos naturales adversos e incrementando los riesgos, especialmente los relacionados con la estabilidad de laderas, inundaciones. Procesos como los incendios, la deforestación, la modificación de cauces y cuencas, el uso intensivo del suelo, la urbanización de llanuras de inundación y canales hídricos naturales, etc, incrementan la intensidad y la probabilidad de ocurrencia de los desastres naturales.

---

Entre los objetivos de esta publicación se encuentran, por un lado, proporcionar habilidades en la comunicación social, ya que permiten el desarrollo de la conciencia, la difusión y la sensibilización y el debate acerca de los riesgos presentes en una región; y por otro, proporcionar información teórica y técnica en diferentes áreas relacionadas con el tema de los riesgos naturales, tanto en el ámbito de la prevención como en el de la intervención.

El contenido aquí presentado va dirigido a un público diverso, desde los especialistas en ciencias sociales, a los expertos en ciencias naturales y exactas y tecnólogos. Permite una visión integral y no fragmentada, donde se combina la capacidad de interpretar los datos cuantitativos con metodologías de evaluación cualitativa, así como la adquisición de herramientas de análisis e intervención para el diagnóstico y la definición de líneas de acción en caso de desastres naturales. También se consideran los aspectos jurídicos y económicos, ya que son fundamentales en todo el proceso de planificación y ejecución de acciones.



Dr. Juan C. Santamarta Cereza



Dr. Luis E. Hernández Gutiérrez

---

**Part 1**

# **Introduction and Basic Concepts**

**Natural Hazards  
&  
Climate Change**

**Riesgos Naturales  
y  
Cambio Climático**

**Parte 1  
Introducción y  
Conceptos Básicos**

---







CHAPTER/  
CAPÍTULO

1

**NATURAL HAZARDS & CLIMATE CHANGE**  
**RIESGOS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO**

Santamarta Juan C., Hernández-Gutiérrez L.E. & Arraiza Bermúdez-  
Cañete M<sup>a</sup>. Paz (Ed.)

ISBN 978-84-617-1060-7



Colegio de Ingenieros  
de Montes (Ed.)

## **Natural Hazards, an Introduction: Floods, Earthquakes and Tsunamis**

Luis E. Hernández-Gutiérrez <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> *Consejería de Obras Públicas, Transportes y Política Territorial. Gobierno de Canarias, Spain*

---

### **Abstract**

The best-known geo-hazards occur suddenly, such as earthquakes, tsunamis, volcanic eruptions, landslides and floods. These can be catastrophic and cause great damage to people and objects. However, coastal and soil erosion, slow landslides, natural radiation or land subsidence are much slower processes. These are difficult geo-hazards to discern because sometimes a lifetime is not a sufficient time interval for them to take place. They rarely cause fatalities and therefore do not usually generate media headlines, though they can cause important economic losses.

© 2014 The Authors. Published by Colegio de Ingenieros de Montes <http://www.ingenierosdemontes.org>

*Peer reviewed*

*Keywords; Risk; Earthquakes; Volcanic Eruption; Environmental Security*

---

---

\* Corresponding author name. Tel.: +3-492-263-3088 ext. 208

*E-mail address:* [luisenrique.hernandezgutierrez@gobiernodecanarias.org](mailto:luisenrique.hernandezgutierrez@gobiernodecanarias.org)

## 1. Floods

The dictionary defines a flood as a great flowing or overflowing of water, especially over land not usually submerged.

Floods are caused by sudden changes in water level, so the level exceeds its natural confinement and covers a portion of land not previously covered.

This is a natural process that occurs in river systems on a regular basis by the melting of snows, heavy rain or coastal storms, which can cause an increase in water level over a coastal plain. These causes are often the product of other natural processes, such as hurricanes and cyclones accompanied by heavy rains, volcanic eruptions capable of melting the snow suddenly, and so on. Apart from natural processes, human influence is in many cases the cause of floods and other acute effects.



Figure 1. Missouri River flooding (USA) on July 30, 1993 (Source: U.S. Geological Survey)

Floods are the main threat to humanity among the geological hazards. Every year millions of people are affected, and for many countries they have become the most destructive geologic process.

### *1.2 Factors involved in flood formation*

The destructive power of a flood is mainly due to two factors. First, there is the power of erosion and transport of material by the water when a rise in its level occurs. Secondly, there is the fact that floodplains in their morphology and natural wealth provide very favourable conditions for human settlements.

Flooding can happen anywhere, but certain areas are especially prone to serious flooding. There are two types of factors involved in flood formation:

#### a) Conditioning Factors

- Morphology of the land: The flat configuration of the ground facilitates the expansion of the water layer; sudden changes in slope favour sudden increases in the velocity of water and its concentration
- Terrain: The lithological composition of the soil determines its drainage and erosion capacity, this determines whether rivers may carry more or less load during a period of overflow
- River Morphometry: River systems may have different morphologies: braided, meandering, rectilinear, which can determine the velocity of water, overflow preferential areas, etc

#### b) Triggering factors

- Weather: The intensity of rainfall or melting snow may exceed the capacity of drainage system and cause an overflow
- Seismic: Earthquakes can trigger tsunamis that can cause severe flooding in the coastal zone
- Deforestation: The lack of a well-developed vegetation cover increases water runoff on the ground.
- Obstruction of the bed: This can occur when waste, trunks or tailings act as a stopper, obstructing the water and causing flooding. These blockages can also be caused by the passage of lava flows
- Paving and bed confinement: These lead to an increase in the speed of runoff and reduce (or cancel) the infiltration of water into the subsoil. Moreover, these favour the deposition of materials on the channel bottom, which then fill and collapse over time thus increasing the topographic level where water circulates

### 1.3 Flood effects

The primary effects of floods are those due to direct contact with the floodwaters. These are:

- Transport of particles due to higher water velocities, enabling them to transport larger particles as suspended load. Such large particles include not only rocks and sediment, but, during a flood, could include large objects like automobiles, houses and bridges.
- Massive amounts of erosion can be accomplished by floodwaters. This erosion can undermine bridge structures, levees and buildings causing their collapse
- Water entering human built structures causing water damage. Even with minor flooding of homes, furniture is ruined, floors and walls are damaged and anything that comes into contact with the water is likely to be damaged or lost. Flooding of automobiles also results in damage that cannot easily be repaired.
- More sediment carried as suspended load due to the high velocity of floodwaters. When the floodwaters retreat, velocity is generally much lower and sediment is deposited. After the retreat of the floodwaters, everything is usually covered with a thick layer of stream depos-

ited mud, including the interior of buildings

- Flooding of farmland resulting in crop loss. Livestock, pets, and other animals are often carried away and drowned
- The water often drowns humans that get caught in the high velocity floodwaters
- Floodwaters can concentrate garbage, debris and toxic pollutants that can cause secondary effects of health hazards

Secondary effects refer to those that occur as a result of the primary effects (tertiary effects are the long-term changes that take place). Among the secondary effects of a flood are:

- Disruption of services
  - Drinking water supplies may become polluted, especially if sewerage treatment plants are flooded. This may result in disease and other health effects, especially in under developed countries
  - Gas and electrical service may be disrupted
  - Transportation systems may be disrupted, resulting in shortages of food and cleaning-up supplies. In under developed countries, food shortages often lead to starvation



Figure 2. Road blocked by floods (Source: Civil Defence, New Zealand [2007])

Long-term effects (tertiary effects) of floods include:

- Changes in the location of river channels as the result of flooding, new channels develop, leaving the old channels dry
- Destruction of farmland by sediment deposited on farmland (although silt deposited by floodwaters can also help to increase agricultural productivity)

- Job losses due to the disruption of services, destruction of business, etc. (although jobs may be gained in the construction industry to help rebuild or repair flood damage)
- Increase in insurance rates
- Corruption from misuse of relief funds
- Destruction of wildlife habitat

## 2. Earthquakes

One of the most frightening and destructive phenomena of nature is an earthquake. We can define an earthquake as a shaking and vibration on the surface of the Earth resulting from underground movement along a fault plane or from volcanic activity.

Frequently, earthquakes occur due to sudden, violent shifting of tectonic plates, which are the earth's outermost layer of crust and upper mantle. Due to the heating and cooling of the rock below these plates, convection occurs. This results in the movement in the overlying plates, which releases stress that accumulates along faults: a fault is a deep crack that marks the boundary between two of these plates. The brittle outer part of the Earth crust fractures along faults. Most earthquakes happen near the boundaries of tectonic plates, both where the plates spread apart and where they grind together. In the process of breaking, vibrations called "seismic waves" are generated. These waves travel outward from the source of the earthquake over the surface and through the Earth at varying speeds. These vibrations cause the entire planet to quiver.

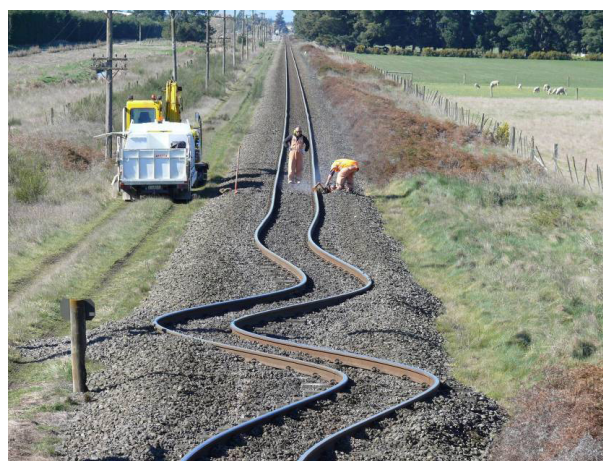


Figure 3. Earthquake shock wave preserved in rail tracks (photo from Civil Defence, New Zealand [2010])

Some common causes for earthquakes include volcanic eruptions, meteor impacts, underground explosions and collapsing structures (such as a collapsing mine), rock falls, and landslides, but this section will discuss only the main cause: tectonic earthquakes.

Earthquakes are mostly generated deep within the earth's crust, when the pressure between two plates is too great for them to be held in place. The underground rocks then snap, producing a fault and sending out shock waves called seismic waves.

The location where the earthquake starts is called the focus or hypocenter. From here, waves start to spread out in all directions. The location above it is called the epicentre. The epicentre is the point on the surface where the waves hit first and the earthquake is the strongest (the most damage is done).

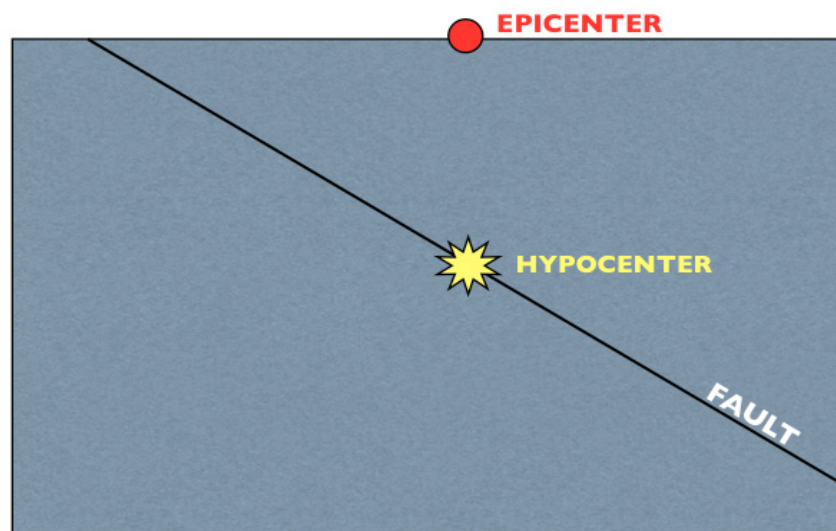


Figure 4. Hypocenter and epicentre

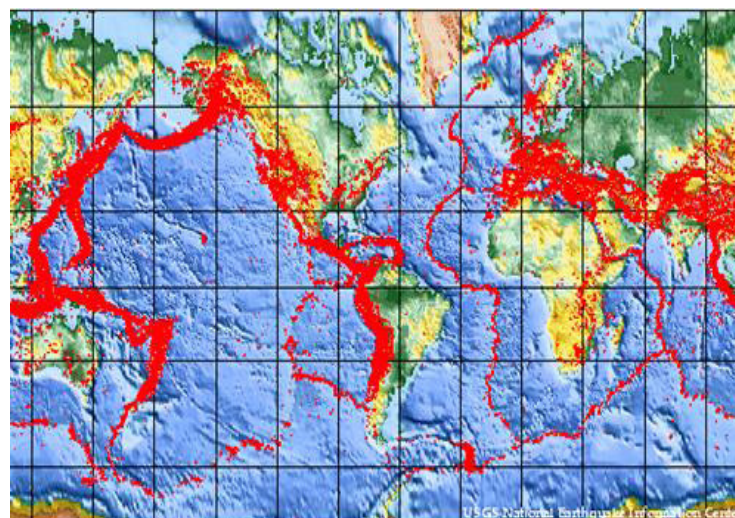


Figure 5. Earthquake world map location (Source: U.S. Geological Survey)

80% of the world's earthquakes occur around the Pacific Ocean, near the east coast of Asia and the west coast of America. Japan has over 2,000 earthquakes every year, and California and South America are also very active earthquake zones. In fact, the edge of the Pacific Ocean is known as the “Ring of Fire” because there are so many active volcanoes in this region.

### 2.1 Earthquake measurements

Earthquakes are measured by their magnitude and intensity. The magnitude indicates the amount of energy released at the source (or epicentre) and is measured by the open-ended Richter Scale. The intensity of an earthquake at a particular area indicates the violence of the earth motion produced there by the earthquake.

Table 1. Modified Mercalli Intensity Scale

<b>I. Instrumental</b>	Generally not felt by people unless in favourable conditions.
<b>II. Weak</b>	Felt only by a few people at most, especially on the upper floors of buildings. Delicately suspended objects may swing.
<b>III. Slight</b>	Felt quite noticeably by people indoors, especially on the upper floors of buildings. Many do not recognize it as an earthquake. Standing motor cars may rock slightly. Vibration similar to the passing of a truck. Duration estimated.
<b>IV. Moderate</b>	Felt indoors by many people, outdoors by few people during the day. At night, some awaken. Dishes, windows, doors disturbed; walls make cracking sound. Sensation like heavy truck striking building. Standing motor cars rock noticeably. Dishes and windows rattle alarmingly.
<b>V. Rather strong</b>	Felt inside by most, may not be felt by some outside in non-favourable conditions. Dishes and windows may break and large bells will ring. Vibrations like a large train passing close to house.
<b>VI. Strong</b>	Felt by all, many people are frightened and run outdoors, walk unsteadily. Windows, dishes, glassware broken; books fall off shelves; some heavy furniture moved or overturned; a few instances of fallen plaster. Damage slight.
<b>VII. Very Strong</b>	Difficult to stand; furniture broken; damage negligible in building of good design and construction; slight to moderate in well-built ordinary structures; considerable damage in poorly built or badly designed structures; some chimneys broken. Noticed by people driving motor cars.
<b>VIII. Destructive</b>	Damage slight in specially designed structures; considerable in ordinary substantial buildings with partial collapse. Damage great in poorly built structures. Fall of chimneys, factory stacks, columns, monuments, walls. Heavy furniture moved.
<b>IX. Violent</b>	General panic; damage considerable in specially designed structures, well-designed frame structures thrown out of plumb. Damage great in substantial buildings, with partial collapse. Buildings shifted off foundations.
<b>X. Intense</b>	Some well built wooden structures destroyed; most masonry and frame structures destroyed with foundation. Rails bent. Large landslides.
<b>XI. Extreme</b>	Few, if any masonry structures remain standing. Bridges destroyed. Rails bent greatly. Numerous landslides, cracks and deformation of the ground.



**XII. Cataclysmic**

Total destruction – Everything is destroyed. Lines of sight and level distorted. Objects thrown into the air. The ground moves in waves or ripples. Large amounts of rock move position. Landscape altered, or levelled by several meters. In some cases, even the routes of rivers are changed.

The original scale for measuring the severity (intensity) of earthquakes (table 1) was compiled by the Italian Seismologist, Guisepppe Mercalli, in 1902. It has gone through a number of revisions since then. The Mercalli Scale relies on how much damage is caused by an earthquake. It is determined from reported effects of the tremor on human beings, furniture, buildings, geological structure, etc. Many places have adopted the Modified Mercalli Scale (MMS), which classifies earthquake effects into twelve grades.

When a fault slips suddenly in an earthquake, it releases energy in the form of seismic waves. Sensitive instruments capture these waves; a seismogram is a recording of the shakes and jolts of these passing seismic waves. Seismology is the scientific study of earthquakes and the propagation of elastic waves through the Earth.

A seismogram has patterns that can be matched and decoded to learn about how earthquakes affect the world. A seismograph or seismometer is the measuring instrument that creates the seismogram. Almost all seismometers are based on the principle of inertia: a suspended mass tends to remain still when the ground moves. The relative motion between the suspended mass and the ground will then be a measure of the ground's motion.

On a seismogram from an earthquake, the P-wave is the first signal to arrive, followed by the slower S-wave, then the surface waves, which produce the devastating effects. The arrival times of the P- and S-waves at different seismographs are used to determine the location of the earthquake. Given that we know the relative speed of P- and S-waves, the time difference between the arrivals of the P- and S-waves determines the distance the earthquake is from the seismograph.

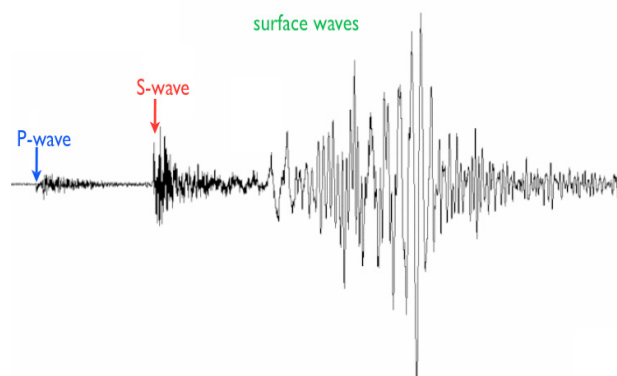


Figure 6. Seismogram

We know the earthquake's magnitude from the height of the waves, and we can figure out when and where the earthquake happened from the time the waves arrive at different places. The individual earthquake shapes the exact pattern of the wiggles: how deep it was, which direction the fault moved, and what kinds of rocks the waves travelled through.

The magnitude of the earthquake is measured on the basis of ground motion recorded by an seismograph and is related to the amount of energy released by an earthquake. This is expressed by the Richter Scale.

The Richter scale is a scale designed by A. Richter to measure the strength or magnitude of the shock waves produced by an earthquake. The scale is measured in steps from one upward. Each successive unit is ten times more powerful than the one before. Therefore, an earthquake that measures 7.0 on the Richter scale is 1000 times more powerful than an earthquake measuring 4.0. The severity of an earthquake can be evaluated on this scale as follows:

- Slight Magnitude up to 4.9 on the Richter scale
- Moderate Magnitude 5.0 to 6.9
- Great Magnitude 7.0 to 7.9
- Violent Magnitude 8.0 and more

However, the Richter magnitude is only accurate for measurements of earthquakes taken up to about 500 km distance. Therefore, seismologists have developed a system called "moment magnitude," which takes into account the actual area of fault ruptured and gives a more consistent measure of earthquake size across the spectrum.

## *2.2 Damage caused by earthquakes*

Earthquakes can cause massive damage and destruction. Earthquakes strike suddenly, violently, and without warning at any time of the day or night. If an earthquake occurs in a populated area, it may cause many deaths and injuries and extensive property damage.

As for damage caused by earthquakes, the following aspects must be considered:

- The effects of an earthquake are strongest in a broad zone surrounding the epicentre
- Earthquake vibrations last longer and are of greater wave amplitudes in unconsolidated surface material, such as poorly compacted fill or river deposits; bedrock areas receive fewer effects
- The worst damage occurs in densely populated urban areas where structures are not built to withstand intense shaking

- The waves can produce destructive vibrations in buildings and break water and gas lines, starting uncontrollable fires
- Surface waves can seriously affect roads, bridges and other communication lines
- An earthquake can trigger mudslides, which slip down mountain slopes and can bury habitations below
- A submarine earthquake can cause a tsunami, a series of damaging waves that ripple outward from the earthquake epicentre and flood coastal cities

### *2.3 Prediction and prevention of earthquakes*

Earthquakes cannot be predicted, although areas most at risk can be identified. The buildings in these areas can then be modified to withstand earthquake shocks. Buildings constructed in earthquake-prone areas have to meet extremely strict building regulations.

Scientists are continuously thinking of ways to try to reduce earthquakes' power. Although there are no guarantees of safety during an earthquake, identifying potential hazards ahead of time and advance planning can save lives and significantly reduce injuries and property damage.

The risks that earthquakes pose to society, including death, injury, and economic loss can be greatly reduced by:

- Better planning, construction and mitigation practices before earthquakes happen
- Providing critical and timely information to improve response after they occur

In earthquake-prone areas, populated areas need to take measures to protect themselves against the effects of earthquakes and to reduce deaths and losses, such as the following ones:

- Earthquake drills should be conducted frequently in earthquake-prone settlements, so that people are familiar with emergency procedures during an actual earthquake, reducing death tolls
- Adequate shelters, medicine and food should also be provided in the settlement to handle the after affects of the earthquake
- Disaster plans and civil defence units should also be well maintained to ensure efficient rescue actions after a disaster strikes
- Seismographs, machines that can detect earthquakes, should be utilized to predict potential earthquakes, alerting authorities to evacuate the people as soon as an earthquake threat is reported
- Tsunami warning systems are also important in coastal areas prone to earthquake in order to reduce great loss of life and damage to property when the waves roll in
- The earthquake risk can be reduced by micro-zonation, which is the identification of separate individual areas having different potentials for hazardous earthquake effects

- Architects are also designing earthquake-proof buildings, constructing on rock instead of gravel, or on soft sand or clay. Large structures are made with strong frameworks of steel or reinforced concrete, so that the frame stands firm even if the ground is shaking.

### 3. Tsunamis

Tsunamis are a series of enormous waves created by an underwater disturbance, such as an earthquake, landslide, volcanic eruption, or meteorite. Tsunami is a Japanese word: ‘tsu’ meaning harbour and ‘nami’ meaning wave.

A tsunami is generated by an impulsive disturbance in the ocean or in a small, connected body of water. The waves sometimes inflict severe damage on property and pose a threat to life in coastal communities. In the open ocean, a tsunami is less than a few centimetres high, travelling at ~800 km/hour (the speed of a commercial jet airplane) with wave energy extending from the surface to the ocean floor. As the tsunami approaches the coastline, the wave energy is compressed into a much shorter distance, creating potentially large destructive waves that pose a threat to life in coastal communities.

If the disturbance is close to the coastline, local tsunamis can demolish coastal communities within minutes. A very large disturbance can cause local devastation and export tsunami destruction thousands of miles away.



Figure 7. An aerial view of Minato, Japan, a week after a 9.0 magnitude earthquake and subsequent tsunami devastated the area (Source: NOAA/NGDC, Lance Cpl. Ethan Johnson, U.S. Marine Corps)

Since 1850 alone, tsunamis have been responsible for the loss of over 420,000 lives and billions of dollars of damage to coastal structures and habitats. Most of these casualties were caused by local tsunamis that occur about once a year somewhere in the world. For exam-

ple, the December 26<sup>th</sup>, 2004 tsunami killed about 130,000 people close to the earthquake that caused it and about 58,000 people on distant shores.

### 3.1 Tsunami formation

A tsunami is different from a wind generated surface wave on the ocean. From the area where the tsunami originates, waves travel outwards in all directions. Once the wave approaches the shore, it builds in height. The topography of the coastline and the ocean floor will influence the size of the wave. There may be more than one wave and the succeeding one may be larger than the one before. This is why a small tsunami at one beach can be a giant wave a few miles away.

Tsunamis are caused by different reasons:

- Sudden movement of the ocean due to earthquakes
- Landslides on the sea floor and land slumping into the ocean
- Large volcanic eruptions
- Meteorite impact in the ocean

#### a. Earthquakes

The most destructive tsunamis are generated from large, shallow earthquakes with an epicentre or fault line near or on the ocean floor. The high seismicity of such regions is caused by the collision of tectonic plates. Large earthquakes on the seafloor, when slabs of rock move past each other suddenly, cause the overlying water to move. When a great earthquake ruptures, the faulting can cause vertical slip that is large enough to disturb the overlying ocean, thus generating a tsunami that will travel outwards in all directions. The resulting waves move away from the source of the earthquake event, spreading destruction along their path.

#### b. Landslides

Less frequently, tsunami waves can be generated from displacements of water resulting from rock falls, icefalls and sudden submarine landslides or slumps. Such events may be caused impulsively from the instability and sudden failure of submarine slopes, which are sometimes triggered by the ground motions of a strong earthquake. Major earthquakes are suspected to cause many underwater landslides, which may contribute significantly to tsunami generation. In general, the energy of tsunami waves generated from landslides or rock falls is rapidly dissipated as they travel away from the source and across the ocean, or within an enclosed or semi-enclosed body of water, such as a lake or a fjord.

### c. Volcanic eruptions

Less common are tsunamis initiated by volcanic eruptions. Although relatively infrequent, violent volcanic eruptions also represent impulsive disturbances, which can displace a great volume of water and generate extremely destructive tsunami waves in the immediate source area. These occur in the following ways:

- Destructive collapse of coastal, island and underwater volcanoes result in massive landslides
- Pyroclastic flows, which are dense mixtures of hot blocks, pumice, ash and gas, plunging down volcanic slopes into the ocean and pushing water outwards
- A caldera volcano collapsing after an eruption causing overlying water to drop suddenly

### d. Meteorite impact

No documented tsunami has ever been generated by an asteroid or meteorite impact. However, clearly, the fall of these bodies into the earth's oceans has the potential of generating tsunamis of cataclysmic proportions. Scientists studying this possibility have concluded that the impact of a moderately large asteroid, 5-6 km in diameter, in the middle of a large ocean basin, such as the Atlantic Ocean, would produce a tsunami that would travel all the way to the Appalachian Mountains covering the upper two-thirds of the United States. On both sides of the Atlantic, coastal cities would also be wiped out by such a tsunami. An asteroid of 5-6 km in diameter impacting between the Hawaiian Islands and the West Coast of North America would produce a tsunami which would wipe out the coastal cities on the west coasts of Canada, U.S. and Mexico and would flood most of the inhabited coastal areas of the Hawaiian islands.

## 3.2 *Effects of tsunamis*

When a tsunami travels over a long and gradual slope, it has time to grow in wave height. This is called shoaling and typically occurs in shallow water less than 100 m in depth. Successive peaks can be anywhere from five to 90 minutes apart. In the open ocean, even the largest tsunamis are relatively small with wave heights of less than one metre. The shoaling effect can increase this wave height to such a degree that the tsunami could potentially reach an onshore height of up to 30 m above sea level. However, depending on the nature of the tsunami and the nearshore surroundings, the tsunami may create only barely noticeable ripples.

Some tsunamis can be very large. In coastal areas, their height can be as great as 10 m or more (30 m in extreme cases), and they can move inland several hundred metres. All low-lying coastal areas can be affected.

Areas are at greater risk if they are less than 10 m above sea level and within a kilometre of the shoreline. Drowning is the most common cause of death associated with a tsunami. Tsunami waves and the receding water are very destructive to structures in the run-up zone. Other hazards include flooding, contamination of drinking water, and fires from gas lines or ruptured tanks.

The force of some tsunamis is enormous. Large rocks weighing several tons along with boats and other debris can be moved inland hundreds of feet by tsunami wave activity. Homes and other buildings are destroyed. All this material and water move with great force and can kill or injure people.

The largest tsunami wave ever observed anywhere in the world was caused by a rock fall in Lituya Bay, Alaska on 10<sup>th</sup> July 1958. Triggered by an earthquake along the Fairweather fault, an approximately 40 million cubic meter rock fall at the head of the bay generated a wave, which reached the incredible run-up height of 525 m (~1750 feet) on the opposite side of the inlet. An initial huge solitary wave of about 180 m (600 feet) raced at about 160 kilometres per hour (100 mph) within the bay, debarking trees along its path. However, the tsunami's energy and height diminished rapidly away from the source area and, once in the open ocean, it was hardly recorded by tide gauge stations. Only two people died and three boats destroyed in Lituya Bay. In nearby Yakutat Bay, a 6.1 m run-up was measured and three people died.

One of the largest and most destructive tsunamis ever recorded was generated on 26<sup>th</sup> August, 1883 after the explosion and collapse of the volcano of Krakatoa, in Indonesia. This explosion generated waves that reached 40 m, destroyed coastal towns and villages along the Sunda Strait on both the islands of Java and Sumatra, killing 36,417 people. It is also believed that the destruction of the Minoan civilization in Greece was caused by the explosion/collapse of the Santorin Volcano in the Aegean Sea in 1490 B.C.

### *3.3 Prediction and prevention of tsunamis*

Tsunamis can occur at any time, day or night. Predicting when and where the next tsunami will strike is currently impossible. Once the tsunami is generated, forecasting tsunami arrival and impact is possible through modelling and measurement technologies.

Although a tsunami cannot be prevented, the impact of a tsunami can be mitigated through community preparedness, timely warnings and effective responses.

Tsunami warning systems provide warnings of potential tsunami danger in the oceans by monitoring earthquake activity and the passage of tsunami waves at tide gauges. However, neither seismometers nor coastal tide gauges provide data that allow the accurate prediction of the impact of a tsunami at a particular coastal location. Monitoring earthquakes gives a good estimate of the potential for tsunami generation, based on earthquake size and location, but gives no direct information about the tsunami itself. Tide gauges in harbours provide direct measurements of the tsunami, but the tsunami is significantly altered by local bathymetry and harbour shapes, which severely limits their use in forecasting tsunami impact at other locations. Partly because of these data limitations, some tsunami warnings are considered false alarms because the tsunami that arrives is too weak to cause damage.

The recent development of real-time deep ocean tsunami detectors and tsunami inundation models have given coastal communities the tools they need to reduce the impact of future tsunamis. If these tools are used in conjunction with a continuing educational programme at the community level, at least 25% of the tsunami related deaths might be averted.

## References

- Boll, J. *Types of Volcanic Eruptions*. Article in <http://www.geology.com/volcanoes>
- Francis, P. (1993). *Volcanoes. A Planetary Perspective*. Oxford University Press Inc., New York. 443 pp.
- Highland, M.L. & Bobrowsky, P. (2008). *The Landslide Handbook - A Guide to Understanding Landslides*. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia. 131 pp.
- Web of Civil Defense, Ministry of Civil defense & Emergency Management, New Zealand Government: <http://www.civildefense.govt.nz>
- Web of Department of Conservation, State of California: <http://www.conservation.ca.gov>
- Web of Geoscience Australia, Australian Government: <http://www.ga.gov.au>
- Web of Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Fomento, Gobierno de España: <http://www.ign.es>
- Web of ITIC, International Tsunami Information Center: <http://itic.ioc-unesco.org>
- Web of NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, USA Government: <http://www.noaa.gov>
- Web of USGS, U.S. Geological Survey, U.S. Department of Interior, USA Government: <http://www.usgs.gov>
- Schuter, R.L & Krizek, R.J. (1978). *Landslides. Analysis and Control*. National Academy of Sciences. Washington, D.C. 234 pp.







CHAPTER/  
CAPÍTULO  
2

**NATURAL HAZARDS & CLIMATE CHANGE**  
**RIESGOS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO**

Santamarta Juan C., Hernández-Gutiérrez L.E. & Arraiza Bermúdez-  
Cañete M<sup>a</sup>. Paz (Ed.)



Colegio de Ingenieros  
de Montes (Ed.)

ISBN 978-84-617-1060-7

## Geological Hazards: Volcanic Eruptions

Luis E. Hernández-Gutiérrez <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> *Consejería de Obras Públicas, Transportes y Política Territorial. Gobierno de Canarias, Spain*

---

### Abstract

The Earth is a dynamic planet in which geological processes take place, both internally and externally. These processes can cause harm to humans and their environment. Society must make use of current scientific and technical knowledge to try to prevent risk and intervene in an emergency. Extreme geological processes have occurred ever since the Earth was formed. There are, of course, few risks when rivers overflow or volcanoes erupt in uninhabited areas. However, if humans and their activities are affected, we speak about geological risk. Geological processes are ubiquitous phenomena, and we have to live with them. Risks are minimized if we maximize awareness of them. It is difficult for citizens to perceive geological hazards in an area where generations have lived safely because most of these risks do not occur in a time scale that allows them to be perceived during the experience of a lifetime.

© 2014 The Authors. Published by Colegio de Ingenieros de Montes <http://www.ingenierosdemontes.org>

*Peer reviewed*

*Keywords; Risk; Earthquakes; Volcanic Eruption; Environmental Security*

---

---

\* Corresponding author name. Tel.: +3-492-263-3088 ext. 208

*E-mail address:* [luisenrique.hernandezgutierrez@gobiernodecanarias.org](mailto:luisenrique.hernandezgutierrez@gobiernodecanarias.org)

## 1. Introduction

Volcanism is the manifestation at the surface of a planet or satellite of internal thermal processes through the emission at the surface of solid, liquid, or gaseous products. Volcanology is the scientific study of volcanic phenomena. Strictly speaking, it refers only to the surface eruption of magmas and related gases, and structures, deposits, and other effects produced thereby. A volcano is an opening in the Earth's crust through which magma or gases of magmatic origin, or both, issue.

### *1.1 Types of volcanic eruptions*

Volcanic eruptions are usually explosive in nature, producing fragmented rocks from erupting lava and surrounding local country rock. Some eruptions are highly explosive and produce fine volcanic ash that rises many kilometres into the atmosphere in enormous eruption columns. Explosive activity also causes widespread ash fall, pyroclastic flows, debris avalanches, landslides, pyroclastic surges, and lahars. Explosivity is usually the result of gases expanding within viscous lava. Another mechanism for explosions from volcanoes occurs when surface water or ground water enters a magma chamber. These eruptions are likely when a volcano occurs in a wet area or in the sea.

The character of a volcanic eruption is determined largely by the viscosity of the liquid phase of the erupting magma and the abundance and conditions of the gas it contains. Viscosity is, in turn, affected by such factors as the chemical composition and temperature of the liquid, the load of solid crystals and xenoliths it carries, the abundance of gas and whether the gas is dissolved or separated as bubbles.

Eruptions can be effusive, where lava flows like a thick, sticky liquid, or explosive, where fragmented lava explodes out of a vent. In explosive eruptions, ash and gases may accompany the fragmented rock; in effusive eruptions, degassing is common but ash is usually not.

Volcanologists classify eruptions into several different types. Some are named after particular volcanoes where the type of eruption is common; others concern the resulting shape of the eruptive products or the place where the eruptions occur. Here are some of the most common eruption types:

- Hawaiian Eruption
- Strombolian Eruption
- Vulcanian Eruption
- Plinian Eruption
- Lava Domes
- Surtseyan Eruption

### a. Hawaiian Eruption

In a Hawaiian eruption, fluid basaltic lava is thrown into the air in jets from a vent or line of vents (a fissure) at the summit or on the flank of a volcano. The jets can last for hours or even days, a phenomenon known as fire fountaining. The spatter created by bits of hot lava falling out of the fountain can melt together and form lava flows, or build hills called spatter cones. Lava flows may also come from vents at the same time as fountaining occurs, or during periods where fountaining has paused. As these flows are very fluid, they can travel miles from their source before they cool and harden.

Hawaiian eruptions get their names from the Kilauea volcano on the Big Island of Hawaii, which is famous for producing spectacular fire fountains. Two excellent examples of these are the 1969-1974 Mauna Ulu eruption on the volcano's flank, and the 1959 eruption of the Kilauea Iki Crater at the summit of Kilauea. In both these eruptions, lava fountains reached heights of well over a thousand feet.



Figure 1. Hawaiian eruption. In a Hawaiian eruption, fluid lava is ejected from a vent as fire fountains or lava flows. Kilauea Volcano, Hawaii, USA. (Source: D.A. Swanson, U.S. Geological Survey [1969])

### b. Strombolian Eruption

Strombolian eruptions are distinct bursts of fluid lava (usually basalt or basaltic andesite) from the mouth of a magma-filled summit conduit. The explosions usually occur every few minutes at regular or irregular intervals. The bursting of large bubbles of gas causes the explosions of lava, which can reach heights of hundreds of metres. These bubbles travel upward in the magma-filled conduit until they reach the open air.

This kind of eruption can create a variety of forms of eruptive products: spatter, or hardened globs of glassy lava; scoria, which are hardened chunks of bubbly lava; lava bombs, or chunks

of lava a few centimetres to a few metres in size; ash; and small lava flows (which form when hot spatter melts together and flows downslope). Products of an explosive eruption are often collectively called tephra.

Strombolian eruptions are often associated with small lava lakes, which can build up in the conduits of volcanoes. They are one of the least violent of the explosive eruptions, although they can still be very dangerous if bombs or lava flows reach-inhabited areas. Strombolian eruptions are named after the volcano on the Italian island of Stromboli, which has several erupting summit vents. These eruptions are particularly spectacular at night, when the lava glows brightly.



Figure 2. Short bursts of glowing lava, created from the bursting of large gas bubbles at the summit vent of a volcano classed as a Strombolian eruption. Stromboli volcano, Aeolian Islands, Italy. (Source: Andrew Hague, Istockphoto.com)

### c. Vulcanian Eruption

A Vulcanian eruption is a short, violent, relatively small explosion of viscous magma (usually andesite, dacite, or rhyolite). This type of eruption results from the fragmentation and explosion of a plug of lava in a volcanic conduit, or from the rupture of a lava dome (viscous lava that piles up over a vent). Vulcanian eruptions create powerful explosions in which material can travel faster than 350 metres per second (800 mph) and rise several kilometres into the air. They produce tephra, ash clouds, and pyroclastic density currents (clouds of hot ash, gas and rock that flow almost like fluids).

Vulcanian eruptions may be repetitive and go on for days, months, or years or they may precede even larger explosive eruptions. They are named after the Italian island of Vulcano, where a small volcano that experienced this type of explosive eruption was thought to be the vent above the forge of the Roman blacksmith god Vulcan.



Figure 3. Vulcanian eruption. Relatively small but violent explosions of viscous lava create columns of ash and gas and occasional pyroclastic flows. Santiaguito volcanic dome complex, Guatemala (Source: Jessica Ball, Geology.com [2009])

#### d. Plinian Eruption

The largest and most violent of all the types of volcanic eruptions are Plinian eruptions. They are caused by the fragmentation of gassy magma and are usually associated with very viscous magmas (dacite and rhyolite). They release enormous amounts of energy and create eruption columns of gas and ash that can rise up to 50 km (35 miles) high at speeds of hundreds of metres per second. Ash from an eruption column can drift or be blown hundreds or thousands of miles away from the volcano. The eruption columns are usually shaped like a mushroom (similar to a nuclear explosion) or an Italian pine tree; Pliny the Younger, a Roman historian, made the comparison while viewing the 79 AD eruption of Mount Vesuvius, and Plinian eruptions are named after him.

Plinian eruptions are extremely destructive and can even obliterate the entire top of a mountain, as occurred at Mount St. Helens in 1980. They can produce falls of ash, scoria and lava bombs miles from the volcano, and pyroclastic density currents that raze forests, strip soil from bedrock and obliterate anything in their paths. These eruptions are often climactic, and a volcano with a magma chamber emptied by a large Plinian eruption may subsequently enter a period of inactivity.



Figure 4. Plinian eruption sends columns of pulverized rock, ash and gases that rise miles into the atmosphere in a matter of minutes. Mount St. Helens in Washington State, USA. (Source: Austin Post, U.S. Geological Survey [1980])

#### e. Lava Domes

Lava domes form when very viscous, rubbly lava (usually andesite, dacite or rhyolite) is squeezed out of a vent without exploding. The lava piles up into a dome, which may grow by inflating from the inside or by squeezing out lobes of lava (rather similar to toothpaste coming out of a tube). These lava lobes can be short and blobby, long and thin, or even form spikes that rise tens of metres into the air before they fall over. Lava domes may be rounded, pancake-shaped, or irregular piles of rock, depending on the type of lava they are formed from.

Lava domes are not just passive piles of rock; they can sometimes collapse and form pyroclastic density currents, extrude lava flows, or experience small and large explosive eruptions (which may even destroy the domes!) A dome-building eruption may go on for months or years, but they are usually repetitive (meaning that a volcano will build and destroy several domes before the eruption ceases). Redoubt volcano in Alaska and Chaiten in Chile are currently active examples of this type of eruption, and Mount St. Helens in the state of Washington spent several years building several lava domes.



Figure 5. Lava domes are piles of viscous lava that are too cool and sticky to flow far. Mount St. Helens in Washington State, USA (Picture from: Lyn Topinka, U.S. Geological Survey [1985])

#### f. Surtseyan Eruption

Surtseyan eruptions are a kind of hydromagmatic eruption, where magma or lava interacts explosively with water. In most cases, Surtseyan eruptions occur when an undersea volcano has finally grown large enough to break the water's surface; because water expands when it turns into steam, water that comes into contact with hot lava explodes and creates plumes of ash, steam and scoria. Lavas created by a Surtseyan eruption tend to be basaltic, since most oceanic volcanoes are basaltic.

The classic example of a Surtseyan eruption was the volcanic island of Surtsey, which erupted off the south coast of Iceland between 1963 and 1965. Hydromagmatic activity built up several square kilometres of tephra over the first several months of the eruption; eventually, seawater could no longer reach the vent, and the eruption transformed into Hawaiian and Strombolian styles. More recently, in March 2009, several vents of the volcanic island of Hunga Ha'apai near Tonga began to erupt. The onshore and offshore explosions created plumes of ash and steam that rose to an altitude of over 8 km (5 miles) and threw plumes of tephra hundreds of metres from the vents.

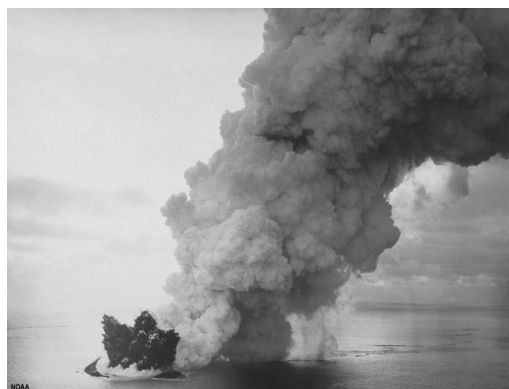


Figure 6. Lava erupting through water creates the dramatic plumes of scoria and billowing ash-and-gas clouds of a Surtseyan eruption. Surtsey Island, Iceland. (Picture from: NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration, USA [1963])



## 2. Volcanic Hazards

Volcanoes can be exciting and fascinating, but also very dangerous. Any kind of volcano is capable of creating harmful or deadly phenomena, whether during an eruption or a period of quiescence. Understanding what a volcano can do is the first step in mitigating volcanic hazards, but it is important to remember that even if scientists have studied a volcano for decades, they do not necessarily know everything it is capable of. Volcanoes are natural systems and always have some element of unpredictability.

Volcanologists are always working to understand how volcanic hazards behave, and what can be done to avoid them. Here are a few of the most common hazards, and some of the ways they are formed and behave. (Please note that this is intended as a source of basic information only, and should not be treated as a survival guide by those who live near a volcano. Always listen to the warnings and information issued by your local volcanologists and civil authorities.)

### 2.1 Lava Flows

Lava is molten rock that flows out of a volcano or volcanic vent. Depending on its composition and temperature, lava can be very fluid or very sticky (viscous). Fluid flows are hotter and move the fastest; they can form streams or rivers, or spread out across the landscape in lobes. Viscous flows are cooler, travel shorter distances and can sometimes build up into lava domes or plugs; collapses of flow fronts or domes can form pyroclastic density currents (discussed later).

Most lava flows can be easily avoided by a person on foot, since they do not move much faster than walking speed, but a lava flow cannot usually be stopped or diverted. As lava flows are extremely hot - between 1,000-2,000°C (1,800 - 3,600° F) - they can cause severe burns and often burn down vegetation and structures. Lava flowing from a vent also creates enormous amounts of pressure, which can crush or bury whatever survives being burned.

### 2.2 Pyroclastic Falls

Pyroclastic falls, also known as volcanic fallout, occur when tephra (fragmented rock ranging in size from millimetres to tens of centimetres) is ejected from a volcanic vent during an eruption and falls to the ground some distance from the vent. Falls are usually associated with Plinian eruptive columns, ash clouds or volcanic plumes. Tephra in pyroclastic fall deposits may have been transported only a short distance from the vent (a few metres to several kilometres), or, if it is injected into the upper atmosphere, may circle the globe. Any kind of pyroclastic fall deposit will mantle or drape itself over the landscape and decreases in both size and thickness the farther away it is from its source.

Tephra falls are usually not directly dangerous, unless a person is close enough to an eruption to be struck by larger fragments. However, the effects of falls can cause damage; ash can smother vegetation, destroy moving parts in motors and engines (especially in aircraft) and

scratch surfaces. Scoria and small bombs can break delicate objects, dent metals and become embedded in wood. Some pyroclastic falls contain toxic chemicals that can be absorbed into plants and local water supplies, which can be dangerous for both people and livestock. The main danger of pyroclastic falls is their weight: tephra of any size is made up of pulverized rock and can be extremely heavy, especially if it gets wet. Most of the damage caused by falls occurs when wet ash and scoria on the roofs of buildings cause them to collapse.

Pyroclastic material injected into the atmosphere may have global as well as local consequences. When the volume of an eruption cloud is large enough, and the cloud is spread far enough by wind, pyroclastic material may actually block sunlight and cause temporary cooling of the Earth's surface. Following the eruption of Mount Tambora in 1815, so much pyroclastic material reached and remained in the Earth's atmosphere that global temperatures dropped an average of about 0.5 °C (~1.0 °F). This caused worldwide incidences of extreme weather, and led 1816 to be known as 'The Year without a Summer'.

### *2.3 Pyroclastic Density Currents*

Pyroclastic density currents are an explosive eruptive phenomenon. They are mixtures of pulverized rock, ash and hot gases that can move at speeds of hundreds of miles per hour. These currents can be either diluted as in pyroclastic surges or concentrated as in pyroclastic flows. They are gravity-driven, which means that they flow down slopes.

A pyroclastic surge is a dilute, turbulent density current that usually forms when magma interacts explosively with water. Surges can travel over obstacles like valley walls, and leave thin deposits of ash and rock that drape over topography. A pyroclastic flow is a concentrated avalanche of material, often from a collapse of a lava dome or eruption column, which creates massive deposits that range in size from ash to boulders. Pyroclastic flows are more likely to follow valleys and other depressions, and their deposits infill this topography. Occasionally, however, the top part of a pyroclastic flow cloud (which is mostly ash) will detach from the flow and travel on its own as a surge.

Pyroclastic density currents of any kind are deadly. They can travel short distances or hundreds of miles from their source, and move at speeds of up to 1,000 kph (650 mph). They are extremely hot, up to 400°C (750°F). The speed and force of a pyroclastic density current combined with its heat mean that these volcanic phenomena usually destroy anything in their path, either by burning or crushing or both. Anything caught in a pyroclastic density current would be severely burned and pummelled by debris (including remnants of whatever the flow travelled over). There is no way to escape a pyroclastic density current other than not being there when it happens!

One unfortunate example of the destruction caused by pyroclastic density currents is the abandoned city of Plymouth on the Caribbean island of Montserrat. When the Soufrière Hills volcano began erupting violently in 1996, pyroclastic density currents from eruption clouds and lava dome collapses travelled down valleys in which many people had their homes, and unin-

dated the city of Plymouth. That part of the island has since been declared a no-entry zone and evacuated, although it is still possible to see the remains of buildings that were knocked over and buried, and objects that were melted by the heat of the pyroclastic density currents.

#### *2.4 Directed Blast*

The May 18, 1980 eruption of Mount St. Helens did not initially produce an eruption column. Instead, the initial eruption was a directed blast. This blast was a result of depressurization triggered by an earthquake-initiated landslide on the north flank of the volcano. The area affected by the directed blast extended for over 19 miles from the volcano. Everything within eight miles of the directed blast area was either swept away or destroyed. Topography in this area had no effect on the movement of material in the directed blast cloud. Between 8 and 19 miles from the volcano, trees were flattened and resembled toothpicks aligned in a uniform direction on surrounding hillsides. Material in the blast cloud was somewhat channelized within this zone. Over 19 miles from the volcano, trees were seared black due to hot gases. Material from the initial blast cloud itself was very hot ranging between 100 and 300 degrees C.

Several people were killed by the directed blast of Mount St. Helens. Mount St. Helens is not the only volcano that has erupted with a directed blast. Its twin, Bezymianny in Kamchatka, Russia, also erupted in this way. Current research shows that directed blasts are not uncommon. The eruption of Mount St. Helens alerted scientists to the warning signs and hazards of such an eruption. Knowledge of directed blast eruptions would help in the future, so that warnings can be given to people in areas that might be affected by such a blast. Monitoring of volcanoes with seismographs and instruments that indicate ground deformation can help identify hazardous zones and indicate areas of possible safety.

#### *2.5 Lahars*

Lahars are a specific kind of mudflow made up of volcanic debris. They can form in a number of situations: when small slope collapses gather water on their way down a volcano; through rapid melting of snow and ice during an eruption; from heavy rainfall on loose volcanic debris; when a volcano erupts through a crater lake; or when a crater lake drains because of overflow or wall collapse.

Lahars flow like liquids, but because they contain suspended material, they usually have a consistency similar to wet concrete. They flow downhill and follow depressions and valleys, but they can spread out if they reach a flat area. Lahars can travel at speeds of over 80 kph (50 mph) and reach distances dozens of miles from their source. If they are generated by a volcanic eruption, they may retain enough heat to still be 60-70°C (140-160°F) when they come to rest.

Lahars are not as fast or hot as other volcanic hazards, but they are extremely destructive. They will either bulldoze or bury anything in their path, sometimes in deposits dozens of feet thick. Whatever cannot get out of a lahar's path will either be swept away or buried. Lahars

can, however, be detected in advance by acoustic (sound) monitors, which give people time to reach high ground; they can also sometimes be channelled away from buildings and people by concrete barriers, although it is impossible to stop them completely.

## 2.6 Gases

Volcanic gases are probably the least showy part of a volcanic eruption, but they can be one of an eruption's most deadly effects. Most of the gas released in an eruption is water vapour (H<sub>2</sub>O), and relatively harmless, but volcanoes also produce carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>), hydrogen sulphide (H<sub>2</sub>S), fluorine gas (F<sub>2</sub>), hydrogen fluoride (HF), and other gases. All of these gases can be hazardous - even deadly - in the right conditions.

Carbon dioxide is not poisonous, but it displaces normal oxygen-bearing air, and is odourless and colourless. As it is heavier than air, it collects in depressions and can suffocate people and animals who wander into pockets where it has displaced normal air. It can also become dissolved in water and collect in lake bottoms; in some situations, the water in these lakes can suddenly 'erupt' huge bubbles of carbon dioxide, killing vegetation, livestock and people living nearby. This was the case in the Lake Nyos in Cameroon, Africa in 1986, where an eruption of CO<sub>2</sub> from the lake suffocated more than 1,700 people and 3,500 livestock in nearby villages.



Figure 7. Geochemical monitoring station in El Hierro, Canary Islands, Spain (Source: Instituto Volcanológico de Canarias, INVOLCAN)

Sulphur dioxide and hydrogen sulphide are both sulphur-based gases, and unlike carbon dioxide, have a distinct acidic, rotten-egg smell. SO<sub>2</sub> can combine with water vapour in the air to form sulphuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), a corrosive acid; H<sub>2</sub>S is also very acidic, and extremely poisonous even in small amounts. Both acids irritate soft tissues (eyes, nose, throat, lungs, etc.), and when the gases form acids in large enough quantities, they mix with water vapour to form "vog", or volcanic fog, which can be dangerous to breathe and cause damage to the lungs and eyes. If sulphur-based aerosols reach the upper atmosphere, they can block sunlight and interfere with ozone, which have both short and long-term effects on climate.

One of the nastiest, although less common gases released by volcanoes is fluorine gas ( $F_2$ ). This gas is yellowish brown, corrosive and extremely poisonous. Like  $CO_2$ , it is denser than air and tends to collect in low areas. Its companion acid, hydrogen fluoride (HF) is highly corrosive and toxic; it causes terrible internal burns and attacks calcium in the skeletal system. Even after visible gas or acid has dissipated, fluorine can be absorbed into plants, and may be able to poison people and animals for long periods following an eruption.

### 2.7 Volcanic Earthquakes

Earthquakes related to volcanic activity may produce hazards, which include ground cracks, ground deformation, and damage to buildings and other structures. There are two general categories of earthquakes that can occur at a volcano: volcano-tectonic earthquakes and long period earthquakes.

Earthquakes produced by stress changes in solid rock due to the injection or withdrawal of magma (molten rock) is called volcano-tectonic earthquakes. These earthquakes can cause land to subside and produce large ground cracks. These earthquakes can occur as rock moves to fill in spaces where magma is no longer present. Volcano-tectonic earthquakes do not indicate that the volcano is about to erupt, as they can occur at anytime.

The second category of volcanic earthquakes is long period earthquakes, which are produced by the injection of magma into surrounding rock. These earthquakes are a result of pressure changes during the unsteady transport of magma. When magma injection is sustained, a number of earthquakes are produced. This type of activity indicates that a volcano is about to erupt. Scientists use seismographs to record the signal from these earthquakes. This signal is known as a volcanic tremor.

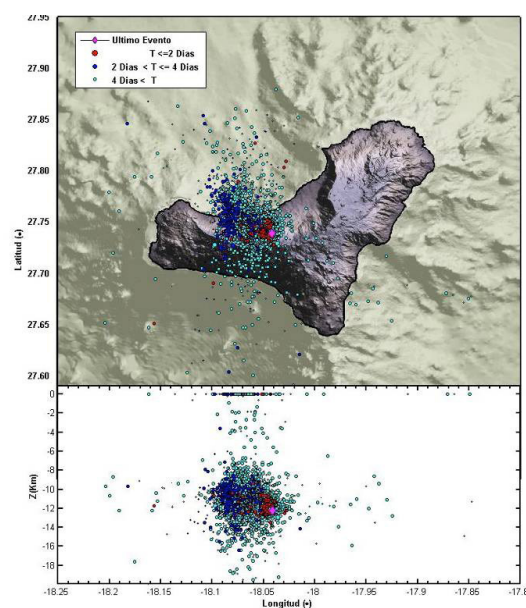


Figure 8. Location of volcano-tectonic earthquakes in El Hierro, Canary Islands, Spain (Source: Instituto Geográfico Nacional, Government of Spain)

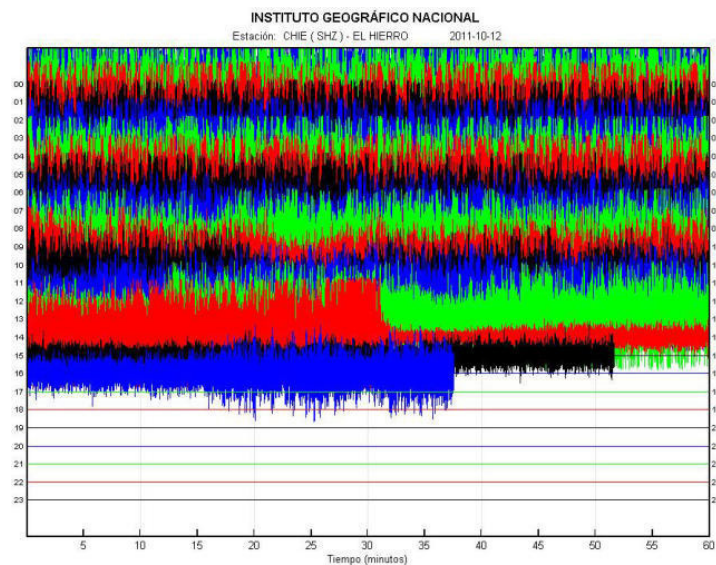


Figure 9. Volcanic tremor of La Restinga Volcano, El Hierro, Canary Islands, Spain (Source: Instituto Geográfico Nacional, Government of Spain)

People living near an erupting volcano are very aware of volcanic earthquakes. Their houses will shake and windows rattle from the numerous earthquakes that occur each day before and during a volcanic eruption.

Volcanic tremors warn of an impending eruption so that people can be evacuated to areas of safety. The volcanic tremor signal has been used successfully to predict the 2011 submarine eruptions of El Hierro, Canary Islands, Spain. Volcano-tectonic earthquakes can cause damage to manmade structures and landslides. To prevent damage from being done, structures should be built according to earthquake standards, building foundations should be constructed on firm ground and not unconsolidated material, which may amplify earthquake intensity, and buildings should be constructed on stable slopes in areas of low hazard potential.

### *2.8 Volcanic hazard prevention*

The problem with volcanoes is that, though there may be similarities between volcanoes, every volcano behaves differently and has its own set of hazards. This is why it is important for scientists to study and monitor volcanoes. Many active volcanoes near populated areas have not been sufficiently studied to assess their risk.

When scientists study volcanoes, they map past volcanic deposits and use satellites to look at volcanic features, ash clouds, and gas emissions. They also monitor seismic activity, ground deformation, and geomagnetic, gravimetric, geoelectrical and thermal changes at a volcano. They

study and monitor volcanic gases and monitor the temperature, flow rate, sediment transport, and water level of streams and lakes near the volcano.

By studying volcanic deposits, scientists can produce hazard maps. These maps indicate the types of hazards that can be expected in a given area the next time a volcano erupts. Dating of these volcanic deposits helps determine how often an eruption may occur and the probability of an eruption each year. Monitoring of a volcano over long periods of time will indicate changes in the volcano before it erupts. These changes can help in predicting when an eruption may occur.

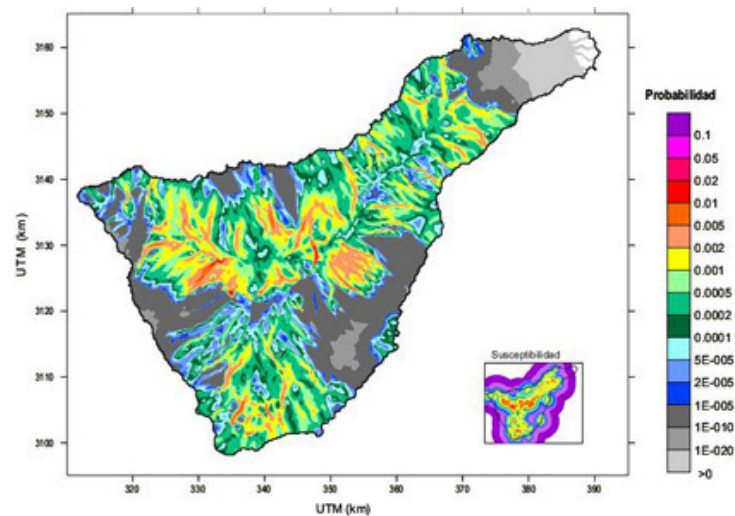


Figure 10. Hazard Map of basaltic lava flows of Tenerife, Canary Islands, Spain ( Source: Instituto Geográfico Nacional, Government of Spain)

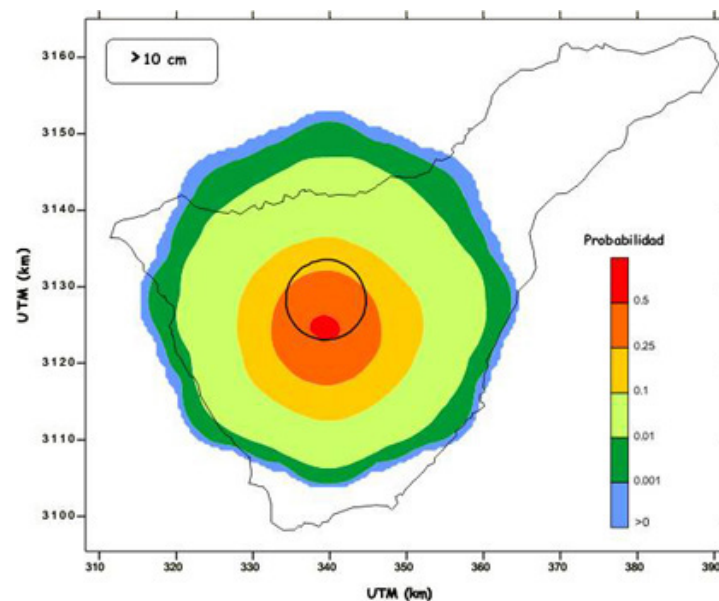


Figure 11. Hazard map of more than 10 cm ash covering of Tenerife, Canary Islands, Spain (Source: Instituto Geográfico Nacional, Government of Spain)

### 3. References

- Boll, J. *Types of Volcanic Eruptions*. Article in <http://www.geology.com/volcanoes>
- Francis, P. (1993). *Volcanoes. A Planetary Perspective*. Oxford University Press Inc., New York. 443 pp.
- Highland, M.L. & Bobrowsky, P. (2008). *The Landslide Handbook - A Guide to Understanding Landslides*. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia. 131 pp.
- Web of Civil Defense, Ministry of Civil defense & Emergency Management, New Zealand Government: <http://www.civildefense.govt.nz>
- Web of Department of Conservation, State of California: <http://www.conservation.ca.gov>
- Web of Geoscience Australia, Australian Government: <http://www.ga.gov.au>
- Web of Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Fomento, Gobierno de España: <http://www.ign.es>
- Web of ITIC, International Tsunami Information Center: <http://itic.ioc-unesco.org>
- Web of NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, USA Government: <http://www.noaa.gov>
- Web of USGS, U.S. Geological Survey, U.S. Department of Interior, USA Government: <http://www.usgs.gov>
- Schuter, R.L & Krizek, R.J. (1978). *Landslides. Analysis and Control*. National Academy of Sciences. Washington, D.C. 234 pp.







CHAPTER/  
CAPÍTULO  
3

**NATURAL HAZARDS & CLIMATE CHANGE**  
**RIESGOS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO**

Santamarta Juan C., Hernández-Gutiérrez L.E. & Arraiza Bermúdez-  
Cañete M<sup>a</sup>. Paz (Ed.)



Colegio de Ingenieros  
de Montes (Ed.)

ISBN 978-84-617-1060-7

## Landslide Hazards

Luis E. Hernández-Gutiérrez <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> *Consejería de Obras Públicas, Transportes y Política Territorial. Gobierno de Canarias, Spain*

---

### Abstract

Landslides are defined as the downward and outward movement of slope-forming materials, natural rocks, soils, artificial fills, or combinations of these materials. Landslides are a serious geologic hazard, common to almost every region of the world. Landslides occur throughout the world, under all climatic conditions and in all terrains.

© 2014 The Authors. Published by Colegio de Ingenieros de Montes <http://www.ingenierosdemontes.org>

*Peer reviewed*

*Keywords; Natural Hazards; Slope; Disasters; Environmental Secourity*

---

---

\* Corresponding author name. Tel.: +3-492-263-3088 ext. 208

*E-mail address:* [luisenrique.hernandezgutierrez@gobiernodecanarias.org](mailto:luisenrique.hernandezgutierrez@gobiernodecanarias.org)

## 1. Introduction

Landslides cost billions in monetary losses and are responsible for thousands of deaths and injuries each year. Often, they cause long-term economic disruption, population displacement, and negative effects on the natural environment.

Although gravity acting on an over-steepened slope is the primary reason for a landslide, there are other contributing factors:

- Erosion by rivers, glaciers or ocean waves creates over-steepened slopes
- Rock and soil slopes are weakened through saturation by snowmelt or heavy rains
- Earthquakes create stresses that make weak slopes fail. Earthquakes of magnitude 4.0 and greater have been known to trigger landslides
- Volcanic eruptions produce loose ash deposits, heavy rain, and debris flows
- Excess weight from accumulation of rain or snow, stockpiling of rock or ore, from waste piles, or from man-made structures may stress weak slopes and other structures to failure

### *1.1 Types of movement*

A landslide is a downslope movement of rock or soil, or both, occurring on the surface of a rupture - either a curved (rotational slide) or planar (translational slide) rupture - in which much of the material often moves as a coherent or semi-coherent mass with little internal deformation. It should be noted that, in some cases, landslides may also involve other types of movement, either at the inception of the failure or later, if properties change as the displaced material moves downslope.

Landslides can be classified into different types based on the type of movement and the type of material involved. In brief, material in a landslide mass is either rock or soil (or both); the latter is described as earth if mainly composed of sand-sized or finer particles and debris if composed of coarser fragments. The type of movement describes the actual internal mechanics of how the landslide mass is displaced: fall, topple, slide, spread, or flow. Thus, landslides are described using two terms that refer respectively to material and movement (that is, rockfall, debris flow, and so forth). Landslides may also form a complex failure encompassing more than one type of movement (that is, rock slide-debris flow).

### a. Falls

Falls are landslides that involve the collapse of material from a cliff or steep slope (fig.1). Falls usually involve a mixture of free fall through the air, bouncing or rolling. A fall type landslide results in the collection of rock or debris near the base of a slope. Separation occurs along discontinuities, such as fractures, joints, and bedding planes, and movement occurs by free-fall, bouncing, and rolling. Falls are strongly influenced by gravity, mechanical weathering, and the presence of interstitial water.

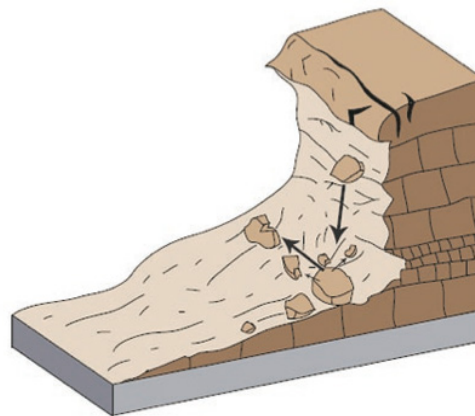


Figure 1. Schematic of a rockfall (Source: U.S. Geological Survey)

### b. Topples

Toppling failures (fig. 2) are distinguished by the forward rotation of a unit or units about some pivotal point, below or lower down in the unit, under the actions of gravity and forces exerted by adjacent units or by fluids in cracks. Topples can consist of rock, debris (coarse material), or earth materials (fine-grained material). Topples can be complex and composite.

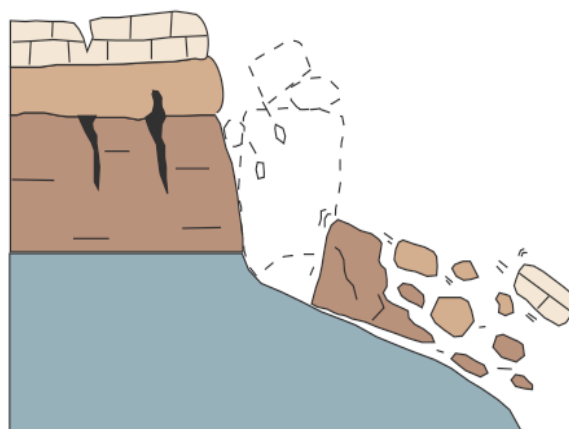


Figure 2. Diagram of a topple (Source: U.S. Geological Survey)

### c. Slides

A slide is a downslope movement of a soil or rock mass occurring on surfaces of rupture or on relatively thin zones of intense shear strain. Movement does not initially occur simultaneously over the whole of what eventually becomes the surface of rupture; the volume of displacing material enlarges from an area of local failure.

Two slide movements can be distinguished, rotational and translational.

- *Rotational landslide*: This is a landslide on which the surface of rupture is curved upward (spoon-shaped) and the slide movement is more or less rotational about an axis that is parallel to the contour of the slope. The displaced mass may, under certain circumstances, move as a relatively coherent mass along the rupture surface with little internal deformation. The head of the displaced material may move almost vertically downward, and the upper surface of the displaced material may tilt backwards toward the scarp. If the slide is rotational and has several parallel curved planes of movement, it is called a slump

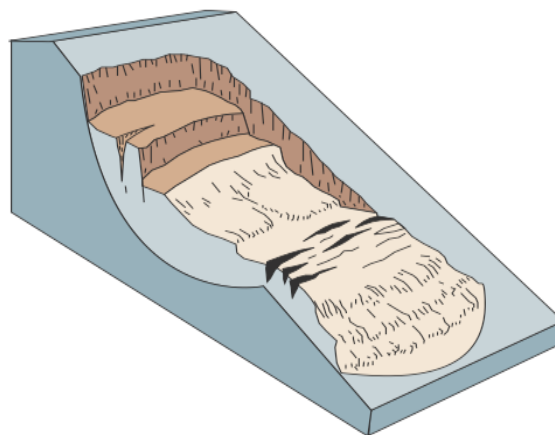


Figure 3. Diagram of a rotational landslide (Source: U.S. Geological Survey)

- *Translational Landslide*: The mass in a translational landslide moves out, or down and outward along a relatively planar surface with little rotational movement or backward tilting. This type of slide may progress over considerable distances if the surface of rupture is sufficiently inclined, in contrast to rotational slides, which tend to restore the slide equilibrium. The material in the slide may range from loose, unconsolidated soils to extensive slabs of rock, or both. Translational slides commonly fail along geologic discontinuities, such as faults, joints, bedding surfaces, or the contact between rock and soil. In northern environments, the slide may also move along the permafrost layer

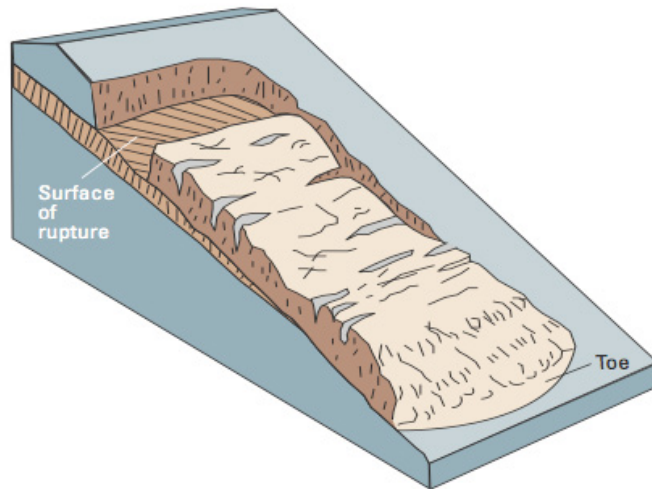


Figure 4. Diagram of a translational landslide (Source: U.S. Geological Survey)

#### d. Spreads

A spread is an extension of cohesive soil or rock mass combined with general subsidence of the fractured mass of cohesive material into softer underlying material. It may result from liquefaction or flow (and extrusion) of the softer underlying material. Types of spreads include block spreads, liquefaction spreads and lateral spreads. Lateral spreads usually occur on very gentle slopes or essentially flat terrain, especially where a stronger upper layer of rock or soil undergoes extension and moves above an underlying softer, weaker layer.

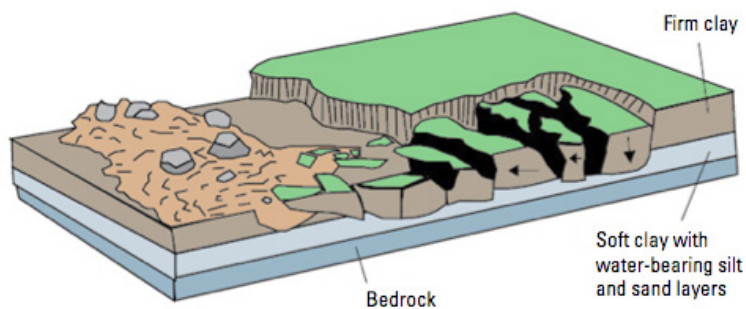


Figure 5. Diagram of a lateral spread (Source: U.S. Geological Survey)

## e. Flows

A flow is a spatially continuous movement in which the surfaces of shear are short-lived, closely spaced, and usually not preserved. The component velocities in the displacing mass of a flow resemble those in a viscous liquid. Often, there is a gradation of change from slides to flows, depending on the water content, mobility, and evolution of the movement. There are five basic categories of flows that differ from one another in fundamental ways:

- Debris flow: A form of rapid mass movement in which loose soil, rock and sometimes organic matter combine with water to form a slurry that flows downslope. They have been informally and inappropriately called “mudslides” due to the large quantity of fine material that may be present in the flow. Occasionally, as a rotational or translational slide gains velocity and the internal mass loses cohesion or gains water, it may evolve into a debris flow. Dry flows can sometimes occur in cohesion less sand (sand flows). Debris flows can be deadly as they can be extremely rapid and may occur without any warning

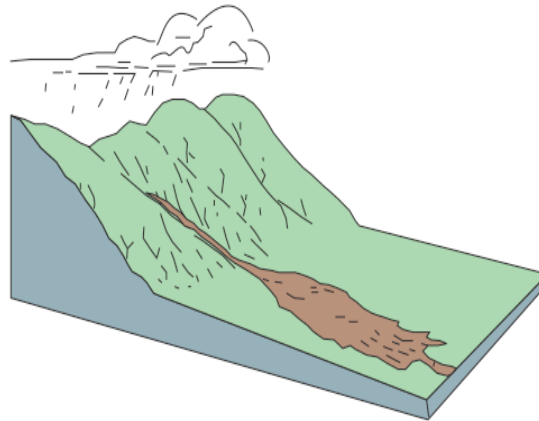


Figure 6. Diagram of a debris flow (Source: U.S. Geological Survey)



Figure 7. Debris flow deposit destroys houses in El Hierro, Canary Islands, Spain

- Lahar (Volcanic Debris Flows): The word “lahar” is an Indonesian term. Lahars are also known as volcanic mudflows. These flows originate on the slopes of volcanoes and are a type of debris flow. A lahar mobilizes the loose accumulation of tephra (the airborne solids erupted from the volcano) and related debris



Figure 8. Diagram of a lahar (Source: U.S. Geological Survey)

- Debris avalanche: Debris avalanches are essentially large, extremely rapid, often open-slope flows formed when an unstable slope collapses and the resulting fragmented debris is rapidly transported away from the slope. In some cases, snow and ice will contribute to the movement. If sufficient water is present, the flow may become a debris flow and (or) a lahar

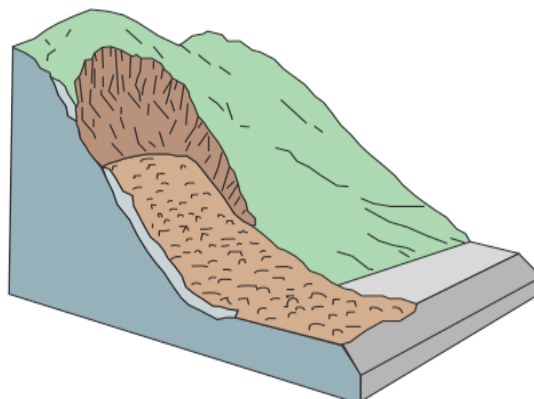


Figure 9. Diagram of a debris avalanche (Source: U.S. Geological Survey)



- Earthflow: It can occur on gentle to moderate slopes, generally in fine-grained soil, commonly clay or silt, but also in very weathered, clay-bearing bedrock. The mass in an earthflow moves as a plastic or viscous flow with strong internal deformation. Susceptible marine clay (quick clay) when disturbed is very vulnerable and may lose all shear strength with a change in its natural moisture content and suddenly liquefy, potentially destroying large areas and flowing for several kilometres. Size commonly increases through headscarp retrogression. Slides or lateral spreads may also evolve downslope into earthflows. Earthflows can range from very slow (creep) to rapid and catastrophic. Very slow flows and specialized forms of earthflows restricted to northern permafrost environments are discussed elsewhere.

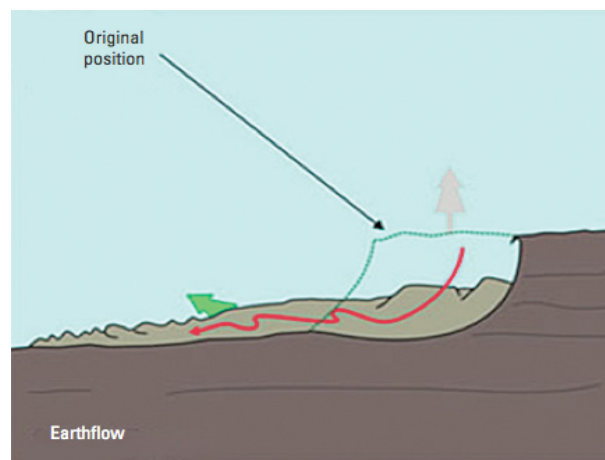


Figure 10. Diagram of an earthflow (Source: U.S. Geological Survey)

## 2. Effects of landslides

Landslide effects occur in two basic environments: the built environment and the natural environment. Sometimes there is intersection between the two, for example farming land or forestland that is being logged.

### 2.1 Effects of Landslides on the Built Environment

Landslides affect manmade structures whether they are directly on or near a landslide. Residential dwellings built on unstable slopes may experience from partial damage to complete destruction as landslides destabilize or destroy foundations, walls, surrounding property, and aboveground and underground utilities. Landslides can affect residential areas either on a large regional basis (in which many dwellings are affected) or on an individual site basis (where only one structure or part of a structure is affected). Furthermore, landslide damage to individual property's lifelines (such as trunk sewer, water, or electrical lines and commonly used roads)

can affect the lifelines and access routes of other surrounding properties. Landslides affect commercial structures in much the same way as residential structures are affected. In such cases, consequences may be great if the commercial structure is a commonly used structure, such as a food market, which may experience an interruption in business due to landslide damage to the actual structure and (or) damage to its access roadways.

## *2.2 Effects of Landslides on the Natural Environment*

Landslides have effects on the natural environment such as on:

- The morphology of the Earth's surface; mountain and valley systems, both on the continents and beneath the oceans are the most significantly affected by downslope movement of large landslide masses.
- The forests and grasslands that cover much of the continents
- The native wildlife that exists on the Earth's surface and in its rivers, lakes, and seas

Landslides negatively affect forests; grasslands and wildlife, with forest and fish habitats being the most easily damaged either temporarily or even occasionally destroyed. However, because landslides are relatively local events, flora and fauna can recover with time. In addition, recent ecological studies have shown that, under certain conditions, in the medium-to-long term, landslides can actually benefit fish and wildlife habitats, either directly or by improving the habitat for organisms that the fish and wildlife rely on for food.

## **3. Prediction and prevention of landslides**

Understanding the characteristics of the specific type of landslide hazard is vitally important to consider when planning or adopting appropriate mitigation action to lessen the risk of loss and damage. The type of landslide will determine the potential speed of movement, likely volume of displacement, distance of run-out, as well as the possible effects of the landslide and the appropriate mitigation measures to be considered.

Vulnerability to landslide hazards is a function of a site's location (topography, geology, and drainage), type of activity and frequency of past landslides. The effects of landslides on people and structures can be lessened by total avoidance of landslide hazard areas or by restricting, prohibiting, or imposing conditions on hazard-zone activity. Local governments can accomplish this through land use policies and regulations. Individuals can reduce their exposure to hazards by educating themselves on the history of past hazards of a desired site and by making

inquiries to planning and engineering departments of local governments. They could also hire the professional services of a geotechnical engineer, a civil engineer, or an engineering geologist who can properly evaluate the hazard potential of a site, built or unbuilt.

Although the physical cause of many landslides cannot be removed, geologic investigations, good engineering practices, and effective enforcement of land use management regulations can reduce landslide hazards.

There are various mitigation methods for various types of landslide hazards:

### *3.1 Soil Slope Stabilization*

Stability increases when ground water is prevented from rising in the slide mass by:

- Directing surface water away from the landslide
- Draining ground water away from the landslide to reduce the potential for a rise in ground-water level
- Covering the landslide with an impermeable membrane
- Minimizing surface irrigation
- Placing a weight or retaining structures at the toe of the landslide or removing mass (weight) from the head of the slope
- Planting or encouraging natural growth of vegetation can also be an effective means of slope stabilization

### *3.2 Rock fall Hazard Mitigation*

Rock fall is common in areas of the world with steep rocky slopes and cliffs. Commonly, these are mountainous or plateau areas, whether in coastal areas or among isolated rock formations. Rockfall causes extraordinary amounts of monetary damage and death, the former mostly by impeding transportation and commerce due to blocked highways and waterways and the latter as direct casualties from falling rocks. Diverting paths and highways around rock fall areas is sometimes implemented but is not always practical. Many communities post danger signs around areas of high rock fall hazard. Some methods of rock fall hazard mitigation include catch ditches, benches, scaling and trimming, cable and mesh, shotcrete, anchors, bolts, dowels, and controlled blasting.

### 3.3 Debris-Flow Hazard Mitigation

Due to the speed and intensity of most debris flows, they are very hard to stop once they have started. However, methods are available to contain and deflect debris flows primarily through the use of retaining walls and debris-flow basins. Other mitigation methods include modifying slopes (preventing them from being vulnerable to debris-flow initiation by using erosion control), revegetation, and the prevention of wildfires, which are known to intensify debris flows on steep slopes.

### 3.4 Landslide Dam Mitigation

Many problems arise when landslides dam waterways. Dams caused by landslides are a common problem in many areas of the world. Landslides can occur on the valley walls of streams and rivers. If enough displaced material (rock, soil, and (or) debris) fills the waterway, the landslide will act as a natural dam, blocking the flow of the river and creating flooding upstream. As these natural dams are frequently composed of loose, unconsolidated material, they are often inherently weak and are soon overtopped and fail due to erosion. When breaching happens quickly, the backed-up water rushes down the waterway, potentially causing catastrophic downstream flooding.

## References

- Highland, M.L. & Bobrowsky, P. (2008). *The Landslide Handbook - A Guide to Understanding Landslides*. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia. 131 pp.
- Web of Civil Defense, Ministry of Civil defense & Emergency Management, New Zealand Government: <http://www.civildefense.govt.nz>
- Web of Department of Conservation, State of California: <http://www.conservation.ca.gov>
- Web of Geoscience Australia, Australian Government: <http://www.ga.gov.au>
- Web of USGS, U.S. Geological Survey, U.S. Department of Interior, USA Government: <http://www.usgs.gov>
- Schuter, R.L & Krizek, R.J. (1978). *Landslides. Analysis and Control*. National Academy of Sciences. Washington, D.C. 234 pp.





CHAPTER/  
CAPÍTULO  
4

**NATURAL HAZARDS & CLIMATE CHANGE**  
**RIESGOS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO**

Santamarta Juan C., Hernández-Gutiérrez L.E. & Arraiza Bermúdez-  
Cañete M<sup>a</sup>. Paz (Ed.)



Colegio de Ingenieros  
de Montes (Ed.)

ISBN 978-84-617-1060-7

## Environmental Restoration

Juan C. Santamarta<sup>a\*</sup>, Jonay Neris<sup>b</sup>, Jesica Rodríguez-Martín<sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Área de Ingeniería Agroforestal, Universidad de La Laguna, Ctra. Geneto, 2, La Laguna, 38200 Tenerife (Canary Islands), Spain*

<sup>b</sup> *Vicerrectorado de Internacionalización y Excelencia, Universidad de La Laguna, C/Viana, 38200, La Laguna, Canary Islands, Spain*

<sup>c</sup> *Ingeniera de Caminos Canales y Puertos, Urb. Jardines de Guajara, 1, La Laguna 38296, Tenerife, Canary Islands, Spain*

---

### Abstract

Environmental restoration initiates or accelerates the recovery of an ecosystem which has been degraded, damaged or contaminated by human activity or natural agents. Environmental restoration projects may focus on restoring the environment or mitigating the negative environmental impacts of other projects or actions.

© 2014 The Authors. Published by Colegio de Ingenieros de Montes <http://www.ingenierosdemontes.org>

*Peer reviewed*

*Keywords; Ecosystem; Degraded lands; Restoration*

---

---

\* Corresponding author name. Tel.: +3-492-231-8550  
E-mail address: jcsanta@ull.es

## 1. Introduction

### 1.1. Concept and types of degradation

An area classified as degraded has been subject to alteration or modification of its natural state due to either natural causes (fires, floods, storms or volcanic eruptions) or direct or indirect human activity.

Two concepts should be bear in mind to classify an area as degraded (Gómez Orea D, 2004):

- a. The conservation value of the space as a structure.
  - Negative value with regard to different viewpoints, such as ecological, scientific, cultural, scenic, productive, etc
  - Inferior value compared to the ecosystem's climax value
- b. The function it serves for society.
  - Absence of function due to degradation
  - Unsatisfactory function

When it comes to designating a degraded area, thoughtfulness and flexibility must be used. As to estimate degradation the following considerations must be taken into account:

- Different degrees of degradation presented: extensive or intensive.
- Different points of view that can be taken into account: ecological, scientific, cultural, scenic, productive etc.
- The extent of the area affected: total or partial.



Figure 1. Hydrologic restoration at Negev Desert in Israel

Restoration is an activity that begins or accelerates the recovery of an ecosystem. It can be defined as the combination of actions carried out with the aim of reversing or reducing the damage to an area. The restoration process is an attempt to reach a situation similar to the original state. However, this does not consist of replacing the elements one by one, but of imitating these elements in such a way that they work together in a similar manner to that of the original situation (it is more important to discover the way the whole system works than to study each piece separately).

An ecosystem has recovered (and therefore has been restored) when it has sufficient biotic and abiotic resources to continue its development without further help. Thus, the end of the restoration process can be defined as the recovery of the essential ecological elements, and particularly by the state of soil processes that allow the maintenance of a stable biology in balance with the climate.

The ecological restoration of a degraded area and the development of the required engineering methods should begin by achieving land stability and soil recovery.

## **2. Historical background**

Ecological restoration actions have increased in recent years, as environmental policies have slowed the rate of environmental degradation in many parts of the world.

Ecological restoration is a scientific discipline that has recently emerged due to the increasing need to restore damaged ecosystems. Natural habitats across the world have been severely impacted due to habitat destruction, urban sprawl and direct damage due to industrial contamination of soils and aquatic resources.

### *2.1 Environmental impact*

The environmental impact is the positive or negative effect on the environment caused by the development of a specific project. It involves effects resulting from human actions, such as construction projects, industrial, agricultural or transport activity, energy supplies, etc. The environment is often the main target of human impacts, meaning not only the physical-chemical and biological components of the environment, but also visual, cultural and socio-economic components. According to the International Association for Impact Assessment (IAIA), the Environmental Impact Assessment (EIA) is defined as “the process of identifying, predicting, evaluating and mitigating the biophysical, social, and other relevant effects of development proposals prior to major decisions being taken and commitments made” [International Association for Impact Assessment 1999]. The European Union [European Commission 2012] defines EIA as “a procedure that ensures that the environmental implications of decisions are taken into account before decisions are made.”



It consists of predicting these effects, developing prevention and/or mitigation actions and including them into the decision-making process as a new factor affecting the suitability of the project studied. It is both a technical tool to study the effects of planned actions (projects, policies, plans and programmes) and unplanned events (natural disasters and conflicts) and a legal and institutional procedure related to the decision-making process (International Association for Impact Assessment, 1999).

The EIA concept arose in the 60s because of the increased awareness by developed countries regarding the impact of human activities on health and the environment. The adoption of legal and institutional procedures to include environmental impact in the decision-making process occurred later on in that decade. The first legal development of this idea was the National Environmental Policy Act (NEPA) in the USA on 1<sup>st</sup> January, 1970. After this date, many different developments were made in most countries around the world and at different scales (national, federal and regional levels). In 1985, the European Union (EU) approved a Directive on EIA. As a first step, EIA addressed only impacts that result from specific actions, such as projects. However, taking into account the influence of policies, plans and programmes on the development of these projects, EIA was also applied to this strategic level of decision-making. This change in perspective led to the development of the Strategic Environmental Assessment (SEA) to ensure the sustainability of strategic decisions. The EU adopted this change and developed environmental assessment of plans and programmes in 2001.

The main objectives of EIA are [International Association for Impact Assessment 1999]:

- To provide information about the effects of a specific action or unplanned event
- To ensure that this information is incorporated into the decision-making process
- To improve public participation and information in the decision-making process
- To develop prevention and mitigation strategies to avoid or reduce environmental impacts
- To promote the sustainable development and preservation of the environment



Figure 2. Forest restoration at Athens (Greece)

## 2.2 Restoration techniques

Before carrying out an environmental restoration project, two key questions should be answered on which the success or failure of the project will depend: the first question is to investigate what the causes were that led to the degradation and the second is how to repair this degradation.

Good planning is achieved based on knowledge from different sources of information, such as the ones mentioned below:

- Topographical survey of the area to be restored and its surroundings
- Environmental valuation of the area: climate, soil and landscape, etc
- Project consequences: finding out the impact of the project on the environment regarding existing activities, legal restrictions, etc
- Needs of future users
- Function of the restored area
- Time period for the development of the restoration project and its duration (useful lifespan)
- Cost of investment to determine the viability or if necessary, the funding required
- Maintenance: the restoration does not end with the completion of the works, maintenance to avoid future problems must also be considered

The main uses of human-induced degraded lands after restoration are the following:

i. Agricultural or forest use

Agricultural use has been the most common use for restoration of mining sites when the land has a gentle topography. The limiting factors for this use are the drainage and the chemical pollution of the soil.

Forest use is an alternative to agricultural use when the steepness of slopes is higher and the soil quality is poor. The critical factors for this use are the physical characteristics of the soil, availability of nutrients and the existence of toxic substances.

ii. Nature conservation and wildlife parks

When land has been abandoned for long periods of time, natural colonisation is very advanced and it is then that society puts pressure to begin restoration. In these cases, it is essential to carry out botanical and faunistic studies to determine the evolutionary state of the area, its quality and fragility and, thus, be able to decide what the final use of the area will be.

iii. Industrial and urban use

These uses are highly suitable for degraded areas close to urban areas which can cater for urban and commercial activities. Before beginning to draft a restoration project in these areas, local council offices should be contacted and existing planning programmes consulted in order to check their compatibility with potential uses. An important aspect to be considered is the existence of good access to the area, as urban or industrial use implies a high traffic density.

iv. Recreational use

Abandoned land located in residential areas of natural or cultural interest can be suitable for recreational activities associated with the enjoyment of nature and education. The objectives that need to be achieved to ensure the success of a restoration project for recreational uses are exclusivity, environmental responsibility, a balanced integration, economic feasibility and flexibility.

v. Sanitary environment uses

The most common sanitary uses include:

- Landfills and rubbish dumps

Any activity involving excavations can be restored to install controlled landfill sites. In these cases, it is important to consider the permeability of the soil and subsoil.

- Water reservoirs and supplies

Previous excavation activities involving deep hollows, these can be restored as water reservoirs for a variety of uses (fire extinction, water supplies, etc.) depending on their characteristics.



Figure 3. Landfill restoration in La Gomera (Canary Islands, Spain)

### **3. Restoration models in different types of spaces**

First, a study should be carried out into the approach for each restoration project, as the final appearance of the space to be restored depends on this. The main approaches that can be adopted when restoring a degraded space are listed below:

1. Rehabilitation: on occasions, this term is confused with restoration. There is a key difference; rehabilitation does not imply achieving the original state of the land.
2. Restoration: the recovery of the initial ecosystem before degradation took place.
3. Replacement: an economic alternative through which a balance is sought without eliminating the elements that have led to the degradation.
4. Reform: only nature acts on the degraded area by natural succession.
5. Revegetation: attempts to establish stable vegetation cover (native or foreign species).

When choosing one of these approaches for a restoration project, it is worth noting that none

of them are better or worse than the others, rather it depends on the circumstances of each space. The fact that they could also be complementary should not be ruled out, above all in large spaces and ones that require separation.

### *3.1 Restoration of landfills*

One of the oldest methods to manage waste has always been to dump it at various sites without any kind of control, not far from the populated areas where it was generated (near to roads, abandoned quarries, etc.). This uncontrolled waste disposal leads to a range of problems: presence of rats and insects, risk of fires, presence of unpleasant smells, water and air pollution, lack of aesthetics and environmental degradation.

These spaces, in the same way as controlled landfills, need to be restored to improve the environmental quality of the area.

The basic restoration actions for these sites involve:

- Removal of waste and earthworks to mitigate the impacts of the previous excavation activities on the topography of the area
- Provision of vegetation that facilitate landscape integration
- Revegetation using species suitable for the environment of the site
- Fencing off the perimeter to avoid new dumping



Figure 4. Quarry restoration

### 3.2 Restoration of areas affected by civil works

The construction of linear infrastructures in any area generates impacts on the components that modify that area and its surroundings. Thus, it is necessary to carry out a programme to be able to restore lost components.

When dealing with these kinds of infrastructures, it is important to bear in mind that new constructions should get integrated into the landscape where they are built.

Linear structures are defined as ones that possess some of the following characteristics: join two or more fixed points, cross a range of areas, are artificial and their construction responds to a need as they provide a public service.

Linear infrastructures are classified into:

- Roads
- Oil and gas pipelines
- Railway lines
- Power lines
- Irrigation channels
- Telephone lines

Roads play an important role in landscapes; this is why the current chapter focuses on this kind of infrastructure.

Roads present a series of environmental problems that are described below:

- Barrier effect
- Land use modification and occupation
- Noise
- Construction of new infrastructures and buildings

When faced with these alterations, the main measures for environmental restoration in these affected areas are:

- Installation of sound barriers

- Slope stabilisation
- Landscape integration
- Wildlife paths



Figure 5. Debris resulting from the excavation of a mine in Tenerife (Canary Islands, Spain)

### *3.3 Restoration of quarries*

The main environmental problems caused by the exploitation of mining resources are:

- The effects on the landscape, such as hollows formed and rubble present in artificial shapes which contrast with the original landscape. The colour of the mine waste contrasts with other tones present. The landscape is deeply visually impacted and are sometimes interrupted due to variations in topography
- The land use change and soil properties with the removal or occupation of fertile soil. The alteration of the soil properties is due to the construction of infrastructures and land occupation and to the compaction caused by heavy machinery passing over.
- Water pollution due to the increase in solids in suspension and the dumping of waste

The main operations that should be considered when beginning the restoration of quarrying sites are:

- Dismantling and demolition of buildings and facilities
- Filling hollows
- Stabilizing rubble heaps and tailing dumps
- Earthworks to restore the original landscape topography
- Planting vegetation covering

## References

Cátedra de Proyectos de la ETSIM, (2011); *Apuntes del curso de restauración de espacios degradados*. Tomos I y II. Universidad Politécnica de Madrid.

Clewell, A.F., and J. Aronson. (2007); *Ecological restoration: principles, values, and structure of an emerging profession*. Island Press, Washington, DC.

Donald A. Falk, Margaret A. Palmer, & Joy B. Zedler (2006); *Foundations of Restoration Ecology*. Society for Ecological Restoration International. Tucson, AZ.

European Commission. Environmental Assessment. In [HTTP://EC.EUROPA.EU/ENVIRONMENT/EIA/HOME.HTM](http://ec.europa.eu/environment/eia/home.htm). 2012.

Gómez Orea, D. (2004); *Recuperación de Espacios Degradados*. Ed. Mundiprensa. Madrid.

Hall M., (2010); *History of environmental clean up and restoration*. World Environmental History. (EOLSS).

International Association FOR Impact Assesment. Principle of Environmental Impact Assessment Best Practice. In *Special publications*. Fargo, USA, 1999, p. 4.

Mitsch, W.J., and S.E. Jorgensen. (2004); *Ecological engineering and ecosystem restoration*. Wiley, Hoboken, NJ.

Morrison, M.L. (2002); *Wildlife restoration: techniques for habitat analysis and animal monitoring*. Island Press, Washington, DC.

NASA. NASA images. In [HTTP://WWW.NASA.GOV/MULTIMEDIA/IMAGEGALLERY/INDEX.HTML](http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/index.html). 2012.

Perrow, M.R., and A.J. Davy. (2002); *Handbook of ecological restoration*. Cambridge University



Press, Cambridge, UK.

Santamarta Cerezal, J.C., Naranjo Borges, J. et al. (2012); *Ingeniería forestal y ambiental en medios insulares. Métodos y Experiencias en las Islas Canarias*. Ed. Colegio de Ingenieros de Montes en Canarias. Tenerife.

Santamarta Cerezal, J.C. et al. (2012); Hidrología y Recursos Hídricos en Islas y Terrenos Volcánicos. *Métodos y Experiencias en las Islas Canarias*. Tenerife

SER. (2004); *The SER International Primer on Ecological Restoration*, Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. Society for Ecological Restoration International, Tucson, AZ.



CHAPTER/  
CAPÍTULO  
5

**NATURAL HAZARDS & CLIMATE CHANGE**  
**RIESGOS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO**

Santamarta Juan C., Hernández-Gutiérrez L.E. & Arraiza Bermúdez-  
Cañete M<sup>a</sup>. Paz (Ed.)



Colegio de Ingenieros  
de Montes (Ed.)

ISBN 978-84-617-1060-7

## **Sediment & Erosion Control, Future Challenges**

Juan C. Santamarta<sup>a\*</sup>, Jesica Rodríguez-Martín<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Área de Ingeniería Agroforestal, Universidad de La Laguna, Ctra. Geneto, 2, La Laguna, 38200 Tenerife (Canary Islands), Spain*

<sup>c</sup> *Ingeniera de Caminos Canales y Puertos, Urb. Jardines de Guajara, 1, La Laguna 38296, Tenerife, Canary Islands, Spain*

---

### **Abstract**

Erosion is a natural process of a physical and chemical nature that degrades, destroys and transports rock and soil of the Earth's crust. This process can be accelerated, modified or corrected by anthropic action. Soil erosion is one form of soil degradation along with soil compaction, low organic matter, loss of soil structure, poor internal drainage, salinization, and soil acidity problems. These other forms of soil degradation, serious in themselves, usually contribute to accelerated soil erosion.

© 2014 The Authors. Published by Colegio de Ingenieros de Montes <http://www.ingenierosdemontes.org>

*Peer reviewed*

*Keywords; ; Degraded lands; Restoration; Sediment; Hydraulic action*

---

\* Corresponding author name. Tel.: +3-492-231-8550  
*E-mail address:* jcsanta@ull.es

## 1. Overview of erosion processes

The majority of erosion processes are the result of a combined action of various factors, such as heat, cold, gases, water, wind, gravity and animal and plant life.

Soil erodibility is an estimate of the ability of soils to resist erosion, based on the physical characteristics of each soil. Generally, soils with faster infiltration rates, higher levels of organic matter and improved soil structure have a greater resistance to erosion.

The erosion process depends on the following factors:

$$ER = f(R, G, S, V)$$

- R = Factor that depends on the quantity and intensity of rainfall
- G = Factor that depends on the slope and topography of the ground
- S = Factor that depends on the physical and chemical properties of the ground
- V = Factor that depends on the characteristics of the vegetal cover

Soil erosion may be a slow process that continues relatively unnoticed, or it may occur at an alarming rate causing serious loss of topsoil. The factors that cause erosion in an area are:

- Torrential rainfall
- Overgrazing
- Over-exploitation of water resources
- Change of land use, urbanisation and civil infrastructure
- Surface mining
- Salinization of ground



Figure 1. Surface erosion and soil loss

### 1.1 *Torrential rain*

On occasions, torrential rainfall occurs: this rainfall leads to important erosion processes. Both rainfall and runoff factors must be considered in assessing a water erosion problem. Runoff can occur whenever there is excess water on a slope that cannot be absorbed into the soil or trapped on the surface.

The main factors that are involved in the generation of solid and liquid runoff that reach rivers, and are then transported by them, are related to the characteristics of the precipitation and the area affected (slope, vegetation), the water erosion and the dynamics of the runoff. The amount of runoff can be increased, if infiltration is reduced due to soil compaction and crusting.

### 1.2 *Overgrazing*

Another key aspect is overgrazing, especially when the *carrying capacity of grazing land* is exceeded. The *carrying capacity* is defined as the number of animals that can graze by hectare or the number of hectares required by each animal so as not to overgraze.

We can simply state that overgrazing is subjecting the land to a greater number of livestock than it can support, leaving livestock to graze for longer than is recommended or allowing livestock to graze at unsuitable times, which does not allow the grass or bushes to reproduce. This eventually leads to erosion and on a large scale to desertification. Another problem is the removal of soil by the trampling of livestock. Overgrazing facilitates desertification in semi-arid areas.

The solution to this problem is regulation of livestock grazing, as well as the demarcation of areas and zones sensitive to erosion, such as slopes, always within the established limit of the *grazing land's carrying capacity*.

### 1.3 *Overexploitation of water resources*

The immediate consequence of the overexploitation of water resources is the salinization of these resources; this fact significantly affects the land and its processes, with the result being erosion. In addition, the overexploitation of coastal aquifers leads to marine intrusion and worsens the quality of the water extracted, which in many cases is used to irrigate crops producing soil problems.

#### 1.4 Changes in land use, urbanisation and civil infrastructure

The change of land use or the abandonment of tradition farming practices are important factors in the acceleration and increase in erosion. Furthermore, certain infrastructure projects, such as building of roads, airports, tourist resorts, among others have contributed to the frequency and development of erosion processes leading to barrier effects of the infrastructure and sealing impermeabilization effects on the ground. The loss of vegetation, more roofs, paving and clearing of woodland and grassland without proper conservation management create erodible land areas, speed up runoff and remove areas available for rainfall infiltration. Vegetation removal from land areas further accelerates erosion and siltation.

#### 1.5 Forest fires

Forest fires are one of the main causes of erosion and destruction of the soil, especially when the first autumn or winter rains are torrential.

During a fire, the undergrowth disappears, allowing elements that were fixed to be moved, so much large-diameter necromass, stones and, above all, rolling pine cones are able to create secondary flashpoints normally beyond the first line where human efforts are trying to control the fire.

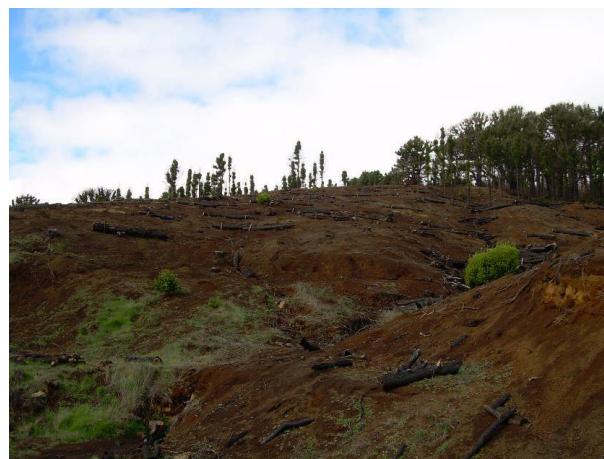


Figure 2. Preventive actions in the forest after a wildfire

One of the most serious and immediate consequences that occur after a forest fire is the dragging of ash and bare soil towards rivers. This can be catastrophic for populated areas and towns near the forest.

In addition, forest fires generate an important distortion in the accumulation of carbon in soil. This element, the main component of organic material, plays a key role in soil fertility, water retention, and resistance to erosion.

As for hydrological implications, a forest fire generates a significant reduction in infiltration. Thus, when the first rains arrive following a forest fire, the runoff on burnt soil can double or even triple as a result of the volume of solids in suspension, and the impermeability and lack of infiltration capacity of the soil surface.

Erosion and soil effects of a forest fire can be classified as follows (Contreras et al, 2007):

- Less soil aggregation
- Reduction in organic material
- Loss of nutrients
- Reduction in surface roughness
- Increase in surface runoff

### 1.6 *Surface mining*

Mining activity removes soil or leaves it unprotected from water, as well as changing the dimensions and shape of the land. Aggregate extraction also causes great environmental and landscape impact.



Figure 3. Erosion caused by surface mining works

### 1.7 *Soil salinization*

Salinization is the accumulation of soluble salts of sodium, magnesium and calcium in soil to the extent that soil fertility is severely reduced. This soil problem leads to an excessive increase of water-soluble salts in the soil. The accumulated salts include sodium, magnesium, potassium and calcium, chloride, sulphate, carbonate and bicarbonate.

Salinization on the soil surface occurs where the following conditions occur together:

- The presence of soluble salts, such as sulphates of sodium, calcium and magnesium in the soil
- A high water table
- A high rate of evaporation
- Low annual rainfall

One of the effects of salinization is that salts in the soil increase the efforts required by plant roots to take in water. High levels of salt in the soil have a similar effect as droughts by making water less available for uptake by plant roots. Salty groundwater may also contribute to salinization. When the water table rises, the salty groundwater may reach the upper soil layers and, thus, supply salts to the rootzone.

### 1.8 *Water erosion*

The process of water erosion begins with rain that falls on the soil breaking it up, subsequently runoff is formed, a laminar flow from the land higher up the slope is created, which flows downwards in small rills that transform quickly into large gullies that are difficult to correct and deal with.

The appearances of gullies are closely connected to inappropriate land use practices. Gully erosion is a reflection of surface erosion and is the most extreme result of this erosion. This type of erosion is preceded by other processes (sheet and rill), due to the increase in runoff volume and speed.

The erosion process is considered to be one of the most serious worldwide environmental problems, associated, to a large degree, with the loss of forest cover. The way erosion works is by detaching material, transporting it (by water, wind...) and finally depositing it. Water erosion can also occur at depth; this effect is related to large displacements of land by the hidden

action of water filtering down. Water lubricates land and creates the conditions necessary for displacement by gravity. Materials slide by shearing when a certain angle of slope is reached

Another effect of water erosion, especially when caused by torrential rainfall, is when the soil becomes saturated with water after many days of rain. This ends up provoking landslides on slopes: the consequences and size of these depend on the angle of the slope on which they occur.



Figure 4. Surface water erosion

### 1.9 *Wind erosion*

Wind erosion is the loss of the soil surface layer by the wind action. This is a selective process because it affects only particles on the soil surface and depends on grain diameter. Wind erosion is a major geomorphological process in arid and semi-arid areas. The rate and magnitude of soil erosion by wind is determined by factors such as particle sizes: very fine particles can be suspended by the wind and then transported great distances; fine and medium-size particles can be lifted and deposited. Other factors are regional climate and wind. The speed and duration of the wind has a direct relationship with the extent of soil erosion. Vegetation cover is also important, as the lack of permanent vegetation cover in certain locations has resulted in extensive erosion by wind.

Climatic factors lead the erosion process, but other factors such as deforestation, bad agriculture practices, urbanisation, etc. also affect wind erosion. It is a recurrent and progressive process that occurs constantly and its effects increase over time. It has three different stages:



- Detachment: The soil surface particles are picked up from the bulk soil. Grain size diameter and wind velocity play an important role in this phase, which is selective depending on these parameters
- Transport: Detached particles are carried from their original place by the wind. As in the detachment stage, transport depends on the wind velocity and grain size. It may occur by:
  - Surface creeping: when larger particles roll along the ground, which is responsible for 50-70% of particle transport
  - Saltation: when intermediate-sized particles are lifted a short height and then dropped and bounce across the surface, which causes 30-40% of wind erosion
  - Suspension: when small particles are lifted by the wind and carried for long distances, only 5-25% of particles are carried this way
- Deposition: particles transported are sedimented due to the loss of wind power

## **2. Erosion control measures**

Remedial actions consist of site control to prevent off-site migration of surface water, sediments and contaminants. Land disturbed by construction activities requires precautionary measures to reduce soil erosion and sedimentation. A construction site, for example, must be investigated for a wide range of conditions, including ground water level, surface drainage and subsurface ground conditions.

Conservation measures can reduce soil erosion by both water and wind. Tillage and cropping practices, as well as land management practices, directly affect the overall soil erosion problem, although other measures might be necessary. For example, contour ploughing, surface water works, land grading can be used to reduce water ponding, erosion and to promote vegetation. Dry dams, strip cropping, or terracing may also be considered. To manage surface drainage at construction sites other methods can be used. The aim of these methods is to reduce erosion, water ponding and runoff of sediments and pollutants onto downslope land and downstream water or streams. It is necessary to understand the application of interception or diversion methods, such as ditches, berms, down pipes, flumes, terraces and benches and sediment and detention basins. Practices for surface stabilization are also useful and include synthetic membranes, vegetation, and land grading and soil bioengineering for slope protection.

The design of structures to control erosion combines various disciplines; surface hydrology, geotechnics and structural design. These disciplines provide the basic information that is required to determine the conditions for the foundations and the magnitude of the forces that are going to act on the planned structure.

The structure, itself, does not present many technical problems. Its complexity lies in its location within an area, this is why it is absolutely essential to carry out a hydrological study (hydromorphology, flow and slope...) of the area to determine the water erosion and estimate approximately the amount of sediment that the river transports to obtain the optimum compensation slope.

Furthermore, the great velocity that torrents of water can reach complicates the management and mitigation of water erosion effects even more.

### *2.1 Control of water erosion by civil works*

Civil works carried out in forest areas have the aim of improving the water regime of ravines and watercourses, the appropriate maintenance and design of water infrastructure, such as dams and reservoirs, the fight against erosion, the conservation and protection of land, as well as the increase in infiltration of the land.

The design of appropriate structures in each micro watershed should be carried out after knowing the results of hydrological and geomorphological studies of the stretch that will be affected by such hydrotechnical works. The results of these studies will predict the future development of the water current. They provide estimates of the magnitude of average, minimum and flood flows, minimum, maximum and average levels, potential floodplains, speed of flows, sediment transport capacity, undermining and accumulation of sediments. Without this prior information, the remedial measures will not be designed and properly constructed.



Figure 5. Gabion drop structure to reduce erosion

Contention dikes for surface sediments are basically small gravity dams whose function is to keep back sediments that flow along the beds of ravines or gullies when these carry water. Their design is very straightforward, but their contribution to the maintenance of other hydraulic infrastructures, downstream, such as soil/land conservation is crucial in areas with steep slopes and torrential rainfall.

a. Transverse structures to control torrential flows

These structures operate like small dams. Their main purpose is to reduce the speed of water flow in a specific stretch, upstream from the construction. They act as control structures. However, they can fail due to bad foundations or because of undermining generated immediately downstream. This is why there is often an absorption basin built of the same material as the dike.

In general, gabion dikes and hydraulic masonry are the best structures to achieve the objectives mentioned above. It is worth highlighting their easy structural calculation and design, as a gravity dam (useful height, drop height, stability verification, energy dissipation, etc). The gabion drop structure is a very useful way to stabilise the dam spillway.

b. Linear hydraulic structures

Linear hydraulic structures complement the previous ones, for example, walls and breakwaters placed on the sides of ravines prevent material being dragged by runoff from the sides and to a certain degree channels the ravines and gullies. Longitudinal structures in ravines are generally used at the intersection of two streams with the aim of reducing the energy of both at this critical point, where flows and material are added together. Poor construction or inadequate maintenance of surface drainage systems, uncontrolled livestock access and farming too close to both stream banks can also lead to bank erosion problems.

Channelling of ravines, even when applied to torrential flows are more related to civil engineering works than environmental or forestry ones. It is used to channel water mainly in areas where the river flows through populated areas or near the mouths of ravines. In Denmark, these types of structures are carried out from a *bioengineering* perspective, substituting the concrete wall with plantations and green covering supported by breakwaters in a fairly natural way and without a noticeable scenic or environmental impact.

Finally, small hydraulic structures should be mentioned, small dikes made of stone or biological material, such as logs or *faginas*, are crucial for restoration following fires.

## 2.2 Erosion control after wildfires

Erosion control that is normally carried out following a wildfire aims at having a double effect. First, the scenic aesthetics need to be restored, and second the burnt fuel needs to be removed through collection by small dikes or log erosion barriers that help limit soil erosion. For this reason, living trees should never support small hydraulic structures in order to prevent horizontal continuity between live and dead fuel.



Figure 6. Use of ordinary material to reduce soil loss after wildfire

Regarding the aesthetic effect, more political than technical criteria are often applied. However, it should be borne in mind that the traces of a fire are not easily removed and therefore adequate planning and a detailed description of the actions that need to be taken should be made. This can ensure that any actions that are carried out will be less harmful than the forest wildfire itself.

## 2.3 Erosion control by forestry restoration

Site-specific conditions must be considered when using vegetation. Success of vegetation depends on the climate characteristics, slope gradients, site preparation and the compatibility of vegetation with these conditions. Vegetation is one of the most commonly used methods for stabilization. It protects a slope with roots, exposed branches and stems. Surface flow velocity is reduced and the capacity for infiltration and water retention from the soils is increased.

When it comes to developing a restoration project when faced with degradation of this kind of area, a choice can be made between three alternatives:

- Natural regeneration: This refers to there being no human intervention and through which new biomass is obtained from natural seed dispersion from nearby adult mass
- Repopulation: This is the introduction of forest species in an area through sowing seeds or planting. It can be forestation or reforestation
  - Forestation: The repopulation through seeds or planting of an area that was agricultural land or was not used as forestland
  - Reforestation: The reintroduction of forest species through seeds or planting in areas that were populated until recent times but which were laid bare due to logging, fires, gales, plagues, diseases or other reasons
- Other plants



Figure 7. Forest restoration

Of all these solutions, repopulation (forestation or reforestation) is the most appropriate option as it is the quickest way to introduce vegetation in the area, thus slowing down erosion processes. In these kinds of areas, the general aim of forest repopulation is protection from which indirect benefits are obtained, such as atmospheric improvement, promotion of biodiversity, etc., but the most important is the protection of the soil against erosion. In protected repopulated areas, studies are carried out into the state of erosion of the land, where the current soil loss and the predicted soil loss if repopulated is determined. The studies are based on the USDA

equation, and inadmissible values are considered to be those that exceed 12 Tm / ha /year.

Repopulation, regardless of its objectives, has a dual importance: an ecological importance that includes improving species diversity; forming habitats for fauna; soil fixing and slowing down erosion. There is also an economic importance from forest products, such as timber, aromatic plants, beekeeping products, livestock, fruits and mushrooms as well as providing social wealth by providing jobs in repopulating, forestry work, forest product industries, fire prevention and extinguishing, etc., and indirect work from tourism and livestock farming.

## References

Ben Hur, M. Fernandez, C., Santamarta Cerezal, JC. (2009); *Ecological Studies. Chapter; Overland flow, soil erosion and stream water quality in forest under different perturbations and climate conditions*. Ed. Springer. Germany.

Contreras Medrano, V., De Sousa Borgues, P. (2007); *Nuevos materiales para el control de la erosión tras los incendios forestales*. Congreso Wildfire. Sevilla.

Dorronsoro, C. Erosion eólica. In [http://edafologia.ugr.es/erosion/tema9\\_eolica/9\\_eolica.html](http://edafologia.ugr.es/erosion/tema9_eolica/9_eolica.html). 2012.

Santamarta Cerezal, JC., Itzjak, M., Evlagon, D. (2010); *Forest hydrology for increasing water resources and run-off in semiarid zones. The case of the Canary islands and the semiarid zone of Israel*. 24th IUFRO Conference for Specialists in Air Pollution and Climate Change Effects on Forest Ecosystems: Adaptation of Forest Ecosystems to Air Pollution and Climate Change. Antalya. Turkey.

Santamarta Cerezal, JC. (2010); *Hydrological and forest measures to mitigate flash floods and soil losses, in insular and volcanic environments. Case study of Tenerife island, Spain, after the wildfires in the summer of 2007*. "Forest Management and the Water Cycle" 6th Science Workshop in "Water related ecosystem services of forests". Antalya. Turkey.

Santamarta Cerezal, J.C., Naranjo Borges, J. et al. (2012); *Ingeniería forestal y ambiental en medios insulares. Métodos y Experiencias en las Islas Canarias*. Ed. Colegio de Ingenieros de Montes en Canarias. Tenerife.

Santamarta Cerezal, J.C. et al. (2012); *Hidrología y Recursos Hídricos en Islas y Terrenos Volcánicos. Métodos y Experiencias en las Islas Canarias*. Tenerife



---

**Part 2**  
**Case Studies and**  
**Applications**

**Natural Hazards**  
**&**  
**Climate Change**

**Riesgos Naturales**  
**y**  
**Cambio Climático**

**Parte 2**  
**Estudio de Casos y**  
**Aplicaciones**

---







CHAPTER/  
CAPÍTULO  
6

**NATURAL HAZARDS & CLIMATE CHANGE**  
**RIESGOS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO**

Santamarta Juan C., Hernández-Gutiérrez L.E. & Arraiza Bermúdez-  
Cañete M<sup>a</sup>. Paz (Ed.)



Colegio de Ingenieros  
de Montes (Ed.)

ISBN 978-84-617-1060-7

## **Cambio climático e incendios de 5<sup>a</sup> generación.**

Néstor Padrón Castañeda<sup>a</sup>, Jesús Barranco Reyes

<sup>a</sup> *Consejería de Seguridad y Emergencias, Cabildo Insular de El Hierro*

---

### **Resumen**

Los incendios forestales de 5<sup>a</sup> Generación, también llamados “mega-fuegos”, son una de las amenazas actuales y futuras para nuestro patrimonio natural e intereses económicos. Su desarrollo simultáneo está vinculado a los Fenómenos Meteorológicos Adversos y a los Días de Altas Temperaturas, dos variables con una estrecha relación con el Cambio Climático. Por ello, evaluarlo y predecirlo son elementos clave para minimizar los daños asociados a estos incendios

### **Abstract**

5th generation wildfires, also called “mega-fires”, are one of the present and future threats for our natural environment and economical interests. Their simultaneous developement is linked to Adverse Weather Events and High Temperature Days, two variables with a strong bond with Climate Change. Therefore, its evaluation and prediction are key elements for minimizing the harm associated with this fire events.

© 2014 The Authors. Published by Colegio de Ingenieros de Montes <http://www.ingenierosdemontes.org>  
*Peer reviewed*

*Palabras clave: incendios forestales, cambio climático; 5<sup>a</sup> generación.*

*Keywords; Wildfire; Climate Change; 5<sup>a</sup> generación.*

## 1. Introducción

### 1.1. El concepto actual de incendio forestal.

La presencia del fuego en nuestro entorno es un fenómeno que se remonta de forma generalizada al Carbonífero, hace 359 millones de años. Su presencia natural ha formado parte de los procesos que han configurado nuestro entorno, y la larga historia de incendios recurrentes justifica que se atribuya al fuego un papel clave en los patrones actuales de vegetación. De hecho, los modelos de simulación de la vegetación a escala global, similares a los que se emplean para predecir los cambios climáticos, no reproducen los biomas terrestres a menos que se considere la interacción recurrente de los incendios (Pausas J.G., 2010).

Pero además, su utilización por parte del ser humano con fines utilitarios, ha dado forma al paisaje y a las masas forestales que nos rodean en incontables ocasiones, hasta convertirse en algo más que un mero accidente antrópico puntual. Se han identificado registros de hogueras en el este de África con 1,5 millones de años de antigüedad, y en Oriente Medio de 800.000 años. El fuego fue ya utilizado desde el Paleolítico para facilitar la caza y la recolección de vegetales, y hay claras evidencias de su uso en la cuenca mediterránea durante el neolítico (Naveh, 1975), donde su empleo está incuestionablemente vinculado a la expansión de la agricultura (Keeley, J.E., Pausas, J. G., 2009). De esta forma, ha condicionado, redirigido y consolidado muchos de los ecosistemas que nos rodean. De hecho, buena parte de dichos ecosistemas sólo se explican por una presencia recurrente del fuego (Martínez *et al*, 2004, citando a Moreno, 1989). El desarrollo de la Arqueología del Paisaje, como técnica pero sobre todo como concepto, nos está permitiendo tomar auténtica conciencia de la penetración pre y protohistórica del fuego como factor de influencia. El caso del *Pinus canariensis*, tan próximo a los que redactan, es un ejemplo paradigmático de como las perturbaciones trascienden el concepto de agresor para convertirse en modelizadores.

De igual manera, es importante recalcar un concepto conocido pero no siempre suficientemente ponderado: no todo fuego es un incendio. La Ley de Montes lo define con claridad:

*“Incendio forestal: el fuego que se extiende sin control sobre combustibles forestales situados en el monte”*

Especialmente relevante es su vinculación al control, elemento definitorio de la existencia de un incendio frente a otros usos y naturalezas del fuego. Forma parte de un arduo pero necesario camino que ha de llevarnos a eliminar el estigma que el fuego tiene en nuestra sociedad actual, y que poco a poco abre la puerta a la generalización del uso técnico del mismo, y a la aceptación de conceptos como la existencia de un régimen de perturbaciones compatible (y necesario) con cada ecosistema, incluyendo a las llamas como uno de los factores implicados.

Dispuestos a contextualizar, podemos ir aún más allá, y enfocar la relevancia de aquellos incendios que afectan a valores destacados, económicos o monetarizables, sean bienes materiales o patrimonio natural. Esta circunstancia genera un especial marco de atención para lo que podríamos denominar, fruto de una simplificación útil aunque cuestionable, “incendios del Primer Mundo”, y que representan el 99% de nuestra percepción mediática.

Lo cierto es que el número de incendios forestales que se producen en el mundo en un momento dado es enorme, pero nuestra atención se centra en aquellos asociados a entornos nacionales afines: el arco mediterráneo, Australia, EEUU, Canada, Chile, etc, copan nuestras coberturas informativas en medios tradicionales y digitales. Los cientos de miles de incidentes que afectan regiones remotas para nosotros, como el anillo africano de Angola, Zambia y Mozambique, los incendios en el Mato Grosso brasileño, o el arco nororiental chino, pasan totalmente desapercibidos en nuestro día a día.

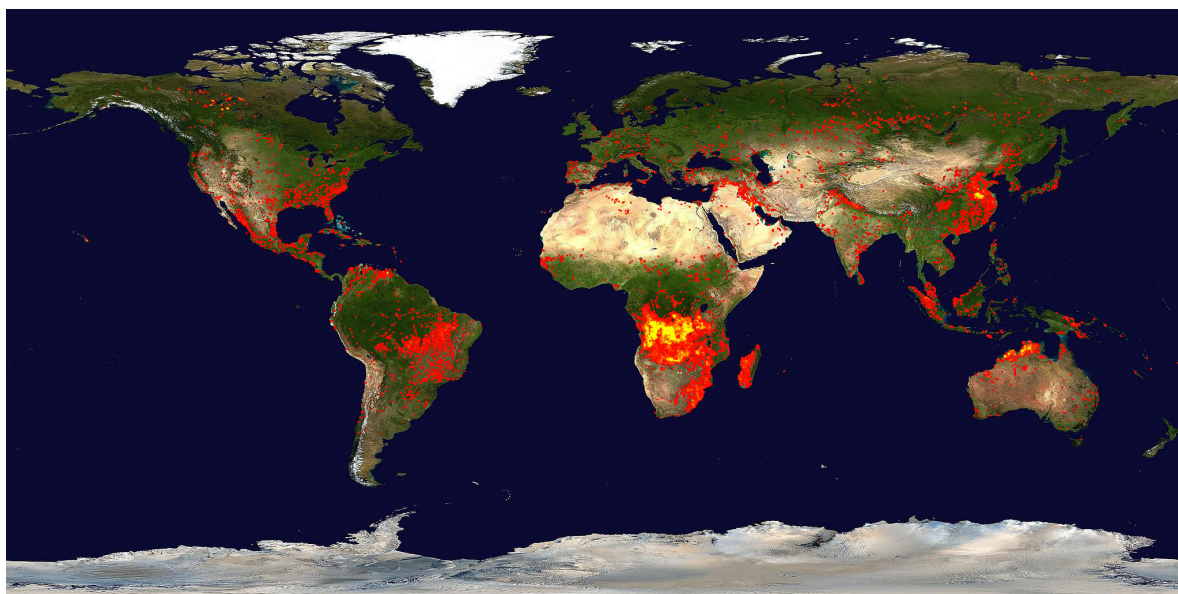


Ilustración 1: incendios en el mundo entre el 10 y el 19 de junio de 2014. Fuente: MODIS NASA.

Incluso en lo que llamamos “Primer Mundo”, muchos de los incendios forestales son objeto de una aproximación diferente. Algunos de los grandes fuegos que recorren los bosques boreales de Canadá, o las similares taigas rusas, arden durante días, semanas, e incluso meses, sin que se produzca intervención activa para su control y extinción. A lo sumo, son sometidos a vigilancia

preventiva para confirmar que no amenazan infraestructuras importantes en su desarrollo, y se les permite avanzar libremente hasta su extinción natural.

Es decir, a cierta escala, nuestro enfoque del concepto de incendio forestal es similar al que se produce con las plagas de insectos: no basta la existencia de una proliferación demográfica descontrolada de una especie que prede sobre recursos vegetales para definirla como plaga, es necesario que se produzcan además daños económicos directos y elevados, afectando a intereses de las personas, o bien una amenaza veraz de dicha posibilidad.

Análogamente, no todos los fuegos forestales son incendios, y no todos los incendios nos afectan. Es del pequeño y reducido grupo de incendios forestales que amenazan nuestros valores naturales y, frecuentemente, bienes e infraestructuras, del que nos ocupamos en realidad; un subconjunto cuantitativamente pequeño pero cualitativamente relevante.

Este breve recorrido para contextualizar aquello a que denominamos incendio forestal, y a quienes afecta, es fundamental para entender en ámbito en el que definimos las llamadas *generaciones de incendios*, un concepto secuencial muy descriptivo, pero que solo cobra sentido cuando se limita su ámbito de aplicación a los eventos a los que hemos hecho referencia.

## 2. Las Generaciones de Incendios

Desde que se divulgara el concepto de “generación de incendios” para describir aquellos producidos en los últimos 50 años (Castellnou *et al*, 2007), su desarrollo ha permitido establecer un análisis evolutivo de la problemática de los incendios forestales que nos afectan. Su carácter, amplio y generalista, no impide su empleo con precisión para diagnosticar el devenir de un fenómeno dinámico y cambiante, y replantearnos los mecanismos de prevención y respuesta que decidimos implantar.

En este documento nos basaremos en la definición descrita por Castellnou y Miralles en *Crisis Response* (2009), que asigna a las diferentes décadas un modelo de incendio, su justificación, y la respuesta tipo implementada.

Tabla 1: Generaciones de Grandes Incendios, clasificados por década desde 1950 en adelante. Marc Castellnou y Marta Miralles (*Crisis Response*, 2009).

Generación	Explicación	Tipo de Incendio	Respuesta contra incendios
1ª. 1950s y 1960s	La continuidad del combustible sobre el terreno permite grandes perímetros. Ya no existen superficies agrícolas que interrumpen el combustible, privando a la extinción de zonas de anclaje	Incendios que queman de 1.000 ha a 5.000 ha. Incendios de superficie, dirigidos principalmente por el viento.	Respuesta tradicional contra incendios, basada en recursos locales, y reforzada con personal estacional. Se construyen puntos de agua, cortafuegos, y estructuras lineales como anclaje, y carreteras para aumentar la accesibilidad.

2ª. 1970s y 1980s	Velocidad de avance. La acumulación de combustible permite incendios más rápidos y focos secundarios. La velocidad del fuego supera a la de las líneas de control	Incendios de 5.000 ha a 10.000 ha. Dirigidos por el viento y la topografía	Densa red de vigilancia y extinción, para asegurar una rápida y potente llegada de autobombas y helicópteros. Más recursos para un ataque directo contundente. El agua parece ser la herramienta ideal. Aumenta el número de recursos aéreos implicados.
3ª. 1990s	Intensidad del fuego. La acumulación del combustible permite continuidad con la copa, resultando en incendios de copas activos, y grandes columnas convectivas, fuera de la capacidad de control. Cada incendio ofrece escasas oportunidades de control. El fuego cambia de comportamiento más rápido que la velocidad a la que la información se mueve a través de la cadena de mando	Incendios de copas y abundantes focos secundarios. Incendios de 10.000 ha a 20.000 ha. Las olas de calor extremo sirven de apoyo a incendios de alta intensidad.	Se introducen los modelos de riesgo, para adaptar la disponibilidad de recursos a la probabilidad de grandes incendios. Se identifica el análisis de incendios como una herramienta para planificar de antemano, y no solo para reaccionar a posteriori al fuego. Se mejora la eficiencia usando un abanico de oportunidades más grande, ampliando las técnicas de extinción: se reintroduce el fuego y las herramientas mecánicas y manuales, reforzando el ataque aéreo, y mejorando la eficiencia con herramientas combinadas. Se introducen unidades logísticas y se baja el nivel de decisión para una respuesta más veloz frente a los cambios en el comportamiento del fuego.
4ª. Desde 2000	El Interfaz Urbano-Forestal (WUI por sus siglas en inglés) se ve afectado por los incendios forestales. Las áreas residenciales e industriales se ven cada vez más afectadas por incendios forestales.	Fuegos que pueden comenzar y terminar dentro del Interfaz Urbano-Forestal, quemando más de 1.000 ha.	Las nuevas circunstancias obligan a cambiar el modelo, de atacar el fuego a defender personas y casas, en una nueva situación defensiva. El análisis de incendios crece como herramienta. Los simuladores, GPS y sistemas de información geográfica se emplean para seguir los recursos en tiempo real.
5ª. Desde 2000	Mega-Incendios. Las zonas en riesgo se enfrentan a grandes, veloces y extremadamente intensos incendios simultáneos.	Incendios de copa simultáneos, que implican zonas de interfaz urbano, principalmente durante las olas de calor	Situación actual. Se requieren nuevas habilidades para responder a grandes incendios simultáneos. La respuesta es la compartición de recursos, pero también se requieren nuevos tipos de conocimiento, cooperación e intercambio de información y experiencias.

En la actualidad, como se puede apreciar, nos vemos afectados por dos generaciones de incendios: los llamados generalmente “incendios de interfaz” (IUF o WUI) y los Mega-Incendios. Es este último tipo el objeto de nuestra atención. Los incendios de 5ª generación son fruto de la combinación de las debilidades estructurales de nuestros modelos de combustible forestal, y del aumento de fenómenos meteorológicos adversos, especialmente olas de calor y advecciones de masas de aire sahariano. Por extensión, afectan también al interfaz urbano-forestal, como los de 4ª generación. Estos incendios se desarrollan durante gran parte de su tiempo de existencia fuera de la capacidad de extinción de nuestros medios convencionales y, para aumentar la complejidad de su combate, su vinculación a condiciones meteorológicas extremas, que siempre tienen un carácter cuanto menos regional, provoca que su aparición pueda ser simultánea en todo el territorio afectado.

Esta simultaneidad implica una dispersión de medios de extinción, que facilita que dichos fenómenos permanezcan más allá de cualquier posibilidad de control, y que sus efectos sean más devastadores que nunca. Los grandes incendios forestales (GIF, LWF) son responsables de la mayor parte del área quemada a pesar de su pequeño peso cuantitativo en las estadísticas totales de incendios producidos (Cardil, 2013, citando a Molina *et al.*, 2010), y las consecuencias de su crecimiento y sincronización son tan desastrosas como cabría esperar.

Frente a la idea de un régimen sostenible de perturbaciones, con incendios controlados y de baja intensidad, los incendios de 5ª generación representan a su antagonista, la faceta más destructiva y descontrolada de su desarrollo. Y nuestra respuesta ante ellos se cimenta sobre el empleo masivo de medios y recursos, con una efectividad mínima y una eficiencia desastrosa, una versión ampliada de las soluciones que llevamos empleando desde los incendios de 3ª generación más allá de su asíntota de efectividad.

### 3. El Cambio Climático

#### 3.1 El clima como factor

Son diversos los factores que explican el desarrollo de estos mega-incendios. Ajeno al propósito de este documento está la estructura del combustible, fruto del abandono de labores selvícolas y agrarias, así como la recuperación intensiva de coberturas arbóreas, la exclusión del fuego de los entornos naturales, y las restricciones a los aprovechamientos tradicionales. Algo similar sucede con la vinculación del desarrollo urbanístico a los espacios forestados. También podría ser objeto de debate la logística sistemática de nuestros servicios de extinción, en su política de vigilancia y primera ataque, que conlleva la práctica extinción del 99% de los incendios en su fase inicial; este gran éxito operativo, sostenido en el tiempo, ha complicado la gestión de las zonas no quemadas cuando se produce ese 1% de incendios no controlados, en

lo que se ha dado en llamar la *paradoja del fuego*, aspecto ampliamente discutido en ámbitos académicos, y que fue objeto de un programa paneuropeo de estudio y divulgación bajo el amparo del proyecto *Fire Paradox*.

Cualquiera de estos factores podría ser objeto de modificación, intervención o alteración por parte del ser humano. Sin embargo, el clima, fundamental en los incendios de 5ª generación, escapa a nuestro control. Su influencia en el desarrollo de estos incendios es determinante, y tanto los fenómenos meteorológicos adversos (FMA) como los días de altas temperaturas (HTD) marcan nuestro calendario frente a ellos: no podemos evitarlos ni minorarlos, por lo que solo nos queda preverlos y actuar en consecuencia.

Es justo aquí donde el Cambio Climático se erige como un factor añadido. Los extremos climáticos, más frecuentes en la actualidad (Founda y Giannakopoulos, 2009; Tolika *et al.* 2009), se están convirtiendo en un factor más crítico para el control del comportamiento del fuego que la propia acumulación del combustible (Cumming, 2001). Las múltiples olas de calor registradas en Europa del Sur en los últimos años siguen el patrón de 2003, cuando se alcanzaron valores extraordinarios en los últimos 500 años (Luterbacher *et al.*, 2004). Los estudios muestran un aumento sostenido de los HTDs en el arco mediterráneo (Cardil, Molina, Kobziar, 2014), hipotéticamente asociado al incremento generalizado de las temperaturas resultante del Cambio Climático, y empíricamente vinculado al desarrollo de grandes incendios forestales. Este último lazo es tan relevante que se ha estimado que un elevadísimo porcentaje de la superficie quemada al año en España se produce durante estos días (Cardil *et al.*, 2013, 2014), que representan un creciente pero aún pequeño porcentaje de los días del año.

Regiones como Cataluña han desarrollado estudios recientes acerca de los fenómenos de advección de masas de aire sahariano, infrecuentes hace apenas unas décadas, y que se generalizan en la actualidad, modificando el marco meteorológico al que se enfrentan los operativos de extinción.

Además de estos fenómenos puntuales, es importante señalar que todo incremento medio de las temperaturas, en entornos como el nuestro, conlleva una modificación de las condiciones fenológicas y de humedad de nuestros combustibles forestales, así como una xerificación de las formaciones vegetales afectadas. La aparente disminución de las precipitaciones primaverales en nuestro país (Calabuig y Moreno, 2007) tendrán un efecto similar. Estos factores afectarán, de forma general, al desarrollo cualitativo y cuantitativo de los incendios en nuestro país.

### 3.2 El caso de Canarias

En Canarias, pese a que análisis como el de Dorta (2001) indican que las advecciones de masas saharianas son parte indisoluble de nuestra climatología, por lo que resulta extremadamente complicado determinar tendencias concretas con las series de datos actuales, la vinculación al fenómeno parece inevitable. Los dos mayores incendios forestales de las islas sucedieron precisamente bajo el influjo de HTDs, en 2007, cuando el fuego arrasó 18.000 ha en Tenerife y



19.000 en Gran Canaria, y futuros estudios deberán establecer la existencia posibles tendencias al alza en dichas variables.

### 3. Conclusiones

El desarrollo de los incendios forestales en nuestro entorno, y nuestra vulnerabilidad presente y futura ante ellos, está muy vinculada a nuestra capacidad para prevenirlos, e intervenir de forma efectiva en cada caso. Identificar el régimen y la tipología de incendios que nos afecta es fundamental, y las experiencias recientes demuestran que los incendios de 5ª generación son la principal amenaza para nuestro territorio. Ante ello, nuestra capacidad para evaluar los efectos del Cambio Climático, su cualificación y cuantificación, resulta fundamental.

Nuestras expectativas son, inevitablemente, un agravamiento del perfil sinóptico, con aumento de HTDs, y su posible combinación con advecciones saharianas. Esto nos empuja a forzar la intervención en los factores modificables, aquellos que si se pueden ubicar bajo nuestro control (usos y aprovechamientos, ordenación del territorio, reinclusión del régimen natural de incendios, operativa de extinción...).

Además, nuestra capacidad a medio plazo para prever en el tiempo los fenómenos más adversos resultaría en una modificación de todos los sistemas actuales de asignación y localización de recursos, generando sistemas de vigilancia y prevención dinámicos, adaptados a las situaciones sinópticas propias de cada momento.

### Referencias

- Cardil, A., Molina D. *Large wildland fires in three diverse regions in Spain from 1978 to 2010*. En: Forest Systems, Vol 22., nº13. INIA. 2013.
- Cardil, A., Molina, D.M., L.N. Kobziar. *Extreme temperatura days and potential impacts in Southern Europe*. En: Natural Hazards and Earth System Sciences. 2, pág 3863-3886. 2014.
- Castellnou, M., Nebot E., Miralles M. *El papel del fuego en la gestión del paisaje*. En: IV International Wildfire Conference 2007, Thematic Session nº1. Sevilla. 2007.
- Castellnou, M., Miralles M. *The changing face of wildfires*. En: Crisis Response Vol.5. Issue 4. Pág: 56-57. 2009.
- Dorta, P. *Aproximación a la influencia de las advecciones de aire sahariano en la propagación de los incendios forestales en la provincia de Santa Cruz de Tenerife*. En: Actas del XVII Congreso de Geógrafos Españoles. Oviedo. Pág: 158-162. 2001.

- Cumming, S.G. *Forest type and wildfire in the Alberta boreal mixedwood: What do fires burn?* En: *Ecol Applic* 11:97-110. 2001
- Founda, D., Giannakopoulos, C. *The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece – a typical summer in the future climate?* En *Glob Planet Change* 67:227-236. 2009.
- Luis Calabuig, E., Moreno Rodríguez, JM. *El Cambio Climático: Influencia sobre los Incendios Forestales*. En: *Cambio Climático Global*. Fundación Monteleón.
- Luterbacher, J., Dietrich, D., Xoplaki, E., Grosjean, M., y Wanner, H. *European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500*. En: *Science*, 203, pág: 1499-1503. 2004.
- Martínez, J., Martínez, J., Martín, P. *El factor humano en los incendios forestales: análisis de factores socio-económicos relacionados con la incidencia de incendios forestales en España*. En. *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*; CSIC, Instituto de Economía y Geografía; Madrid; págs. 101-a42; 2004
- Molina, D., Castellnou, M., García-Marco, D., Salgueiro, A., 2010. *Improving fire management success through fire behaviour specialist*. En: *Research Report – European Forest Institute (EFI)*, pp:203-215. 2010.
- NASA. NASA images. En <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/firemap/201>.
- Naveh, Z. *The evolutionary significance of fire in the Mediterranean region*. En: *Vegetatio* 29:199-208. 1975.
- Pausas J.G., *A Burning Story: The role of fire in the history of life*. En: *BioScience*, vol. 59, nº7; págs. 593-6001; 2009.
- Pausas J.G., *Fuego y evolución en el Mediterráneo*. En: *Investigación y Ciencia*, agosto; págs. 56-63; 2010.
- Tolika, K., Maheras, P., Tegoulas, I. *Extreme temperatures in Greece during 2007: could this be a “return to the future”?* En: *Geophys Res Lett* 36:L10813. Doi 10.1029/2009GL038538. 2009.





CHAPTER/  
CAPÍTULO  
7

**NATURAL HAZARDS & CLIMATE CHANGE**  
**RIESGOS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO**

Santamarta Juan C., Hernández-Gutiérrez L.E. & Arraiza Bermúdez-  
Cañete M<sup>a</sup>. Paz (Ed.)



Colegio de Ingenieros  
de Montes (Ed.)

ISBN 978-84-617-1060-7

## **Forest ecosystems, sewage works and droughts – possibilities for climate change adaptation**

Gálos B. <sup>a\*</sup>, Antal V. <sup>a</sup>, Czimber K. <sup>b</sup> and Mátyás Cs. <sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Institute of Environment and Earth Sciences, Faculty of Forestry, University of West Hungary, Hungary*

<sup>b</sup> *Institute of Geomatics and Civil Engineering, Faculty of Forestry, University of West Hungary, Hungary*

---

### **Abstract**

The aim of this study was to analyze the projected climate tendencies towards the end of the 21st century, the expected climate change impacts as well as the adaptation possibilities in the Carpathian basin. First, the ecological processes are investigated for forest ecosystems, on regional scale. Second, a sewage works has been selected to introduce the local scale impacts and mitigation options.

Based on the results of regional climate model simulations for the Carpathian basin, a significant increase of temperature and a strong decrease (up to 30-35 %) of the summer precipitation sum is projected towards the end of the 21st century. The probability and severity of summer droughts and heavy precipitation events are expected to increase compared to the baseline period 1981-2010. These climatic tendencies can lead to the loss of the climatically suitable area of the vulnerable tree species as well as to growth and production decline and mass mortality events. For sewage works on local scale, the warmer and dryer summer can amplify the decomposition processes and odor emission. The intense precipitation events may result in increase of incoming wastewater amount.

Recommendations have been worked out for both forestry and sewage works including management options, monitoring networks, technological solutions and environmental education. In this way results of the introduced case studies can provide useful information for adaptation and mitigation strategies in all sectors on different spatial and temporal scales.

© 2014 The Authors. Published by Colegio de Ingenieros de Montes <http://www.ingenierosdemontes.org>

*Peer reviewed*

*Keywords; Climate change; Climate impact analysis; Forest ecosystems; Sewage works; Adaptation options*

---

\* GÁLOS Borbála Tel.: +36-99-518-622

E-mail address: galos.borbala@emk.nyme.hu

## 1. Introduction

### 1.1 Projected climate change for Europe

In the last decade several recent EU-projects have been carried out, to provide high-resolution climate change projections with focus on future climate changes and their impacts in Europe (Christensen et al. 2007, Jacob et al. 2008, van der Linden and Mitchell 2009, Jacob et al. 2013, Vautard et al. 2013, Vautard et al. 2014, IPCC 2013). For the first half of the 21st century, all regional climate models simulate a significant surface warming in central and eastern Europe. The annual precipitation shows an increase in the northeastern and a decrease in the southwestern regions. The transition (neutral) zone (e.g. Hungary, Rumania) can be characterised by the largest spread between models (Kjellström et al. 2011), where precipitation changes are quite small.

For the end of the 21st century, a warming is expected in all seasons over Europe, which is stronger than in the first half of the 21st century. All models agree that the largest warming for summer is projected to occur in the Mediterranean area, southern France and over the Iberian Peninsula. For winter the maximum warming occurs in eastern Europe (Christensen et al. 2007). For precipitation, the largest increase is projected in winter, whereas the expected decrease is the strongest in summer. Changes in the intermediate seasons are less pronounced. Recent results from enhanced greenhouse-gas scenarios over Europe suggest that not only the climatic means are expected to change, but there is also an increase in the inter-annual variability of the future temperature and precipitation values, which can lead to higher probability of extremes compared to the present-day conditions (Kjellström et al. 2007, Vautard et al. 2014).

### 1.2 Importance and actuality of climate impact analyses in the Carpathian region

Towards the end of the 21st century, regional climate model simulations project a significant increase of summer temperature and a decrease of summer precipitation sum for the entire Carpatian basin (Bartholy et al. 2007, Gálos et al. 2007, Jacob et al. 2008, Szépszó 2008). Many of the zonal tree species that have their lower limit of distribution in this region (Mátyás et al. 2009, Mátyás et al. 2010), where first of all the increasing frequency of summer droughts influences the presence, vitality, health status and production of forests. The impacts of the consecutive dry periods in the last 20-years are already visible in the sensitive forest ecosystems.

Therefore in the forestry sector the importance of complex, long term management planning is increasing. In the frame of a joint EU-national research project a Decision Support System “Agrarklima” is under development that provides GIS-supported information about the most important regional and local risks and mitigation options regarding climate change impacts, projected for reference periods until 2100 (Mátyás et al. 2013). Digital elevation models, climate, soil and hydrological conditions as well as land use and land cover are also considered. In this way the system allows the complex assessment of sensitivity, vulnerability, and risk in the affected sectors.

Climate change threaten not only the nature-close forestry and the non-irrigated agriculture but also the industry and infrastructure on local scale. In this way the Decision support system can provide useful information for adaptation and mitigation strategies in all sectors on different spatial and temporal scales.

### *1.3 Research foci*

For the analysis of the observed and expected climate change impacts and adaptation possibilities in the Carpathian basin, a regional scale case study (based on the example of forestry) as well as a local scale case study (based on the example of a sewage works) will be introduced.

The following research questions are raised and discussed:

- Are there any climate related impacts observed in the last decades in the two analyzed sectors?
- What are the projected climate conditions until the end of the 21st century in the investigated regions?
- What are the expected impacts of climate change in forestry and on the sewage works?
- What kind of strategies and options can be suggested for mitigation and adaptation?

## **2. Models and methods**

For the analyses the climate database of the Decision Support System “Agrarklima” has been used that contains daily time series for precipitation and temperature means and extremes as well as derived climate indices for the time period 1961-2100. For the time period 1961-2010, gridded station data from the EU-project CARPATCLIM database ([www.carpatclim-eu.org](http://www.carpatclim-eu.org)) are applied. These serve as reference of the projected changes for the future. For the 21st century, simulation results of 12 regional climate models from the EU-project ENSEMBLES ([www.ensembles-eu.org](http://www.ensembles-eu.org)) are used based on the A1B emission scenario (IPCC 2007). Applying a set of regional climate simulations rather than single models, the variability and spread of the results and the model uncertainty can be evaluated and statistically analyzed. The regional climate models have already been validated in the frame of international research projects (Jacob et al. 2008).

The target region covers the Carpathian basin (figure 1). The original horizontal resolution is  $0.22^\circ$  ( $\sim 25 \times 25$  km grid) that are interpolated to a 1 km common grid. For the local scale investigations a small sub-region have been selected (figure 1) that represent the climate conditions of the investigated sewage work in Central-Hungary.

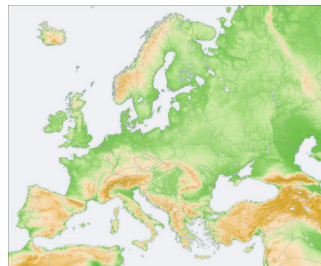


Figure 1. The analysed region and the selected sub-region (marked with rectangles)

For analysing the long term tendencies of temperature and precipitation for the 21st century, 30-year climate periods have been selected: 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100. The projected climate change has been determined based on the reference period 1981-2010.

General climate indices like frequency of hot days (total number of days on which the daily maximum air temperature 2m above the ground reaches or exceeds  $30^\circ\text{C}$ ;  $T_{\text{max}} \geq 30^\circ\text{C}$ ), very hot days ( $T_{\text{max}} \geq 35^\circ\text{C}$ ) and heavy precipitation days (total number of days on which the daily precipitation sum reaches or exceeds 20 mm;  $P \geq 20$  mm/day) as well as forestry indices (e.g. Forestry aridity index; Führer et al. 2013) have also be analyzed.

### 3. Results

#### 3.1 Observed impacts in forest ecosystems

In low-elevation regions in Southeast Europe precipitation is the limiting factor of production and ecosystem stability. These forests are especially sensitive and vulnerable to the increase of the frequency of climatic extremes, especially to droughts. The more frequent and severe droughts at the end of the 20th century already resulted in growth decline, loss of vitality and the decrease of the production and the macroclimatically suitable area of distribution (Berki et al. 2009).

In the comparison of climate zones, the strong correlation between organic matter production and climate is obvious. The above-ground dendromass responds strongly to the worsening of climate, irrespective of tree species, while the below-ground parts remain unchanged. The carbon content of humus and soil increases toward drier climate. This process may become even more severe with the projected climate change (Berki et al. 2009, Mátyás et al. 2010, Czúcz et al. 2011, Führer et al. 2013).

### 3.2 Projected climate change for the Carpathian basin

For detailed analyses the summer season has been selected, that are especially important from forestry point of view. Based on the results of regional climate model simulations, summer temperatures can be higher towards the end of the 21st century in the entire region (figure 2).

Figure 3 represents the summer precipitation sum for 1981-2010 and its projected changes for the three future time periods compared to the reference interval in the past. The mean of the 12 regional climate model simulations clearly shows the decrease of the summer precipitation sum, which is projected to be the strongest in the last 30 years of the 21st century and in the southern regions of the Carpathian basin (Gálos et al. 2014).

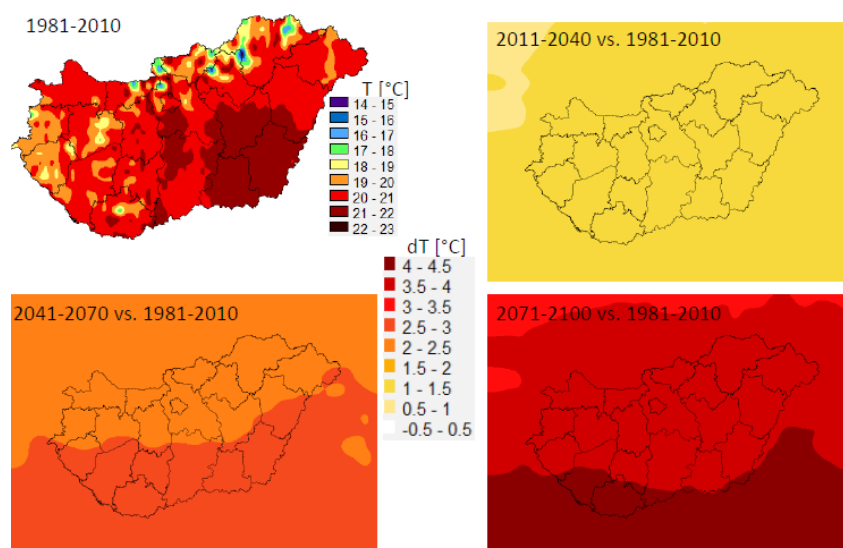


Figure 2. Summer temperature mean and its projected changes for the investigated time periods (average of 12 regional climate model simulations)



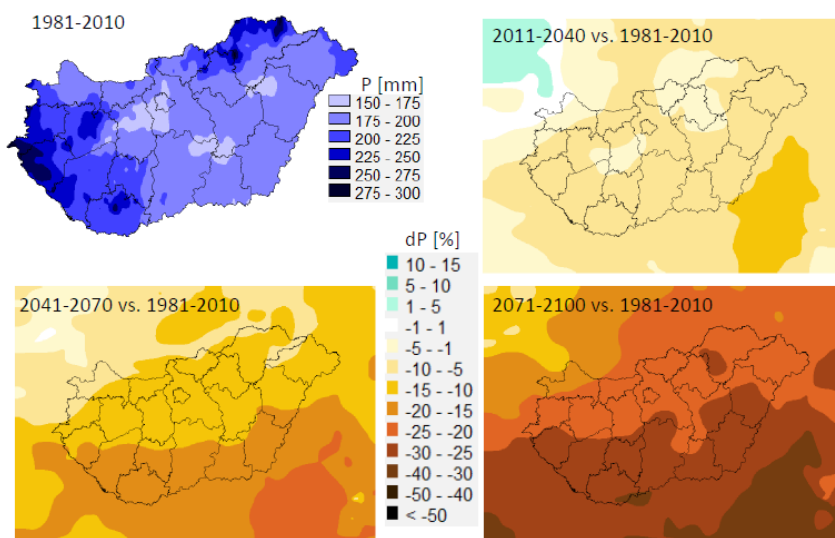


Figure 3. Summer precipitation sum and its projected changes for the investigated time periods (average of 12 regional climate model simulations)

The total number of summer droughts are expected to increase. Not only the probability but also the severity of these events can be higher for the end of the 21st century (figure 4). For 2071-2100, half of the 30-year period can be extremely dry. Consequently, the consecutive dry periods can last longer compared to the end of the 20st century (Gálos et al. 2014).

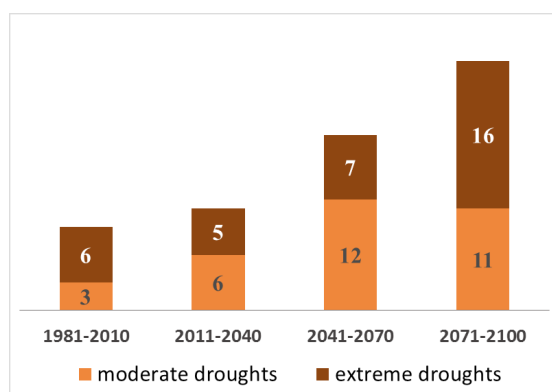


Figure 4. Total number of summer droughts for the investigated time periods (average of 12 regional climate model simulations, drought definition is based on Gálos et al. 2007)

### 3.3 Expected impacts and possibilities for climate change adaptation in forestry

For the 21st century, climate models predict drastic reductions of the climatic niche of climate sensitive species (primarily beach and sessile oak; figure 5), resulting in increment and profitability decline.

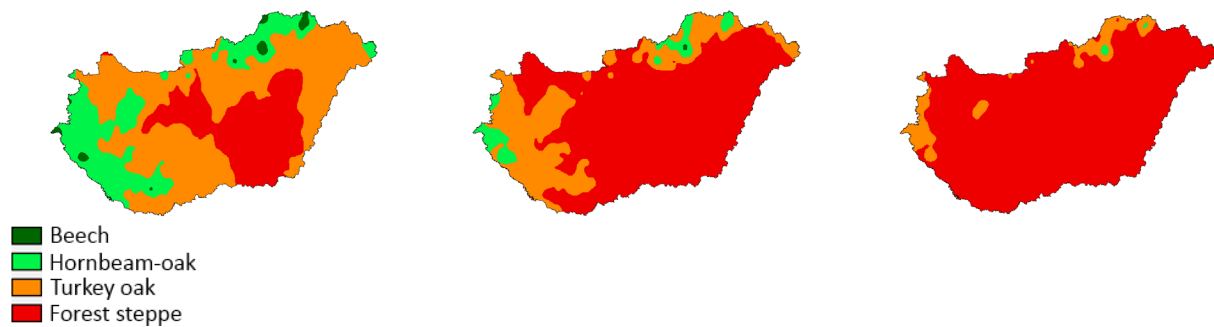


Figure 5. Climatically suitable areas of the main forest types for 1981-2010 (left), 2011-2040 (middle) and 2041-2070 (right) based on the forestry aridity index (Führer et al. 2013)

Increasing drought frequency trigger not only change of the climatic suitable area of the main forest types, but also the decline of growth, the reduction of potential production, the change of the ecosystem services of forests, the increase of insect gradations and the appearance of heavy damages caused by earlier insignificant species. Loss of vitality may lead to mass mortality events (Lakatos and Molnár 2009, Mátyás et al. 2010, Führer et al. 2013).

To prepare to the expected impacts and for improving the adaptation strategies, the Decision Support System “Agrarklima” under development will provide detailed information for each forestry sub-compartments. It will contain the recommended tree species that are able to adapt to the projected climate conditions, the expected mortality rate, growth potential, yield, production capacity as well as the economic aspects of the suggested management options.

### 3.4 Observed impacts in sewage works

Based on measurements of the last decade, intense precipitation events lead to the significant increase of the wastewater runoff (figure 6). The effects on the sewage works occur later because of the runoff time (Antal 2014).

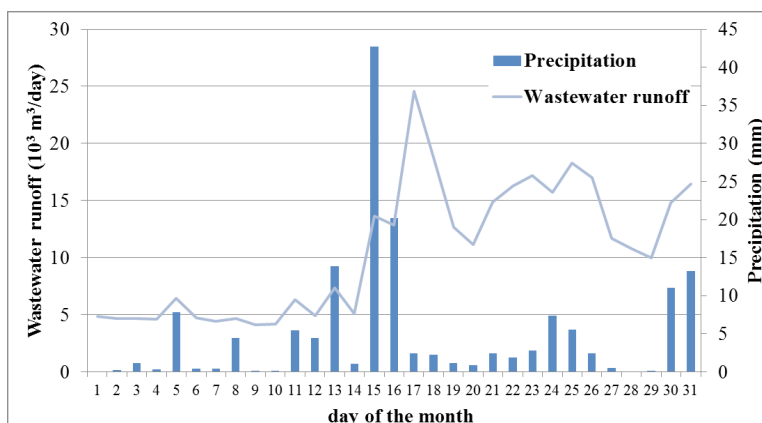


Figure 6. Precipitation and wastewater runoff for May 2010 for the investigated sewage works (Antal 2014)

No clear correlations have been found between the daily temperature and precipitation extremes and the ammonia content of the wastewater (not shown). In case of the ammonia concentration exceeds the defined threshold limit, it can be related to other factors like specific water consumption, a residence time in the sewer system or the mixing, as well as errors in wastewater treatment technologies rather than to specific weather and climate conditions.

### 3.5 Projected climate change for the sub-region

Corresponding to the tendencies discussed in section 3.2, a significant warming is expected for the whole year in the analyzed sub-region that is the most pronounced in the summer season. Summer temperature means can be 1-1.5 °C higher for 2011-2040, 2-2.7 °C higher for 2041-2070 and 3.4-4.2 °C higher for 2071-2100 compared to the reference period 1981-2010.

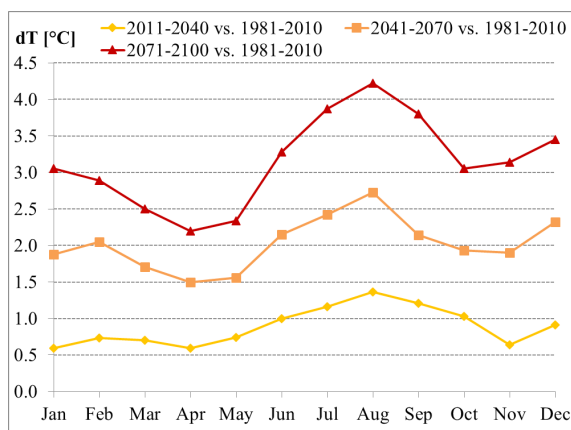


Figure 7. Change of the monthly temperature means for the investigated time periods (average of 12 regional climate model simulations for the investigated sub-region; figure 1)

Simulation results of the regional climate models do not show any significant changes of the annual precipitation sum. But the annual distribution of the rainfall amount is projected to change. Figure 8 shows the drastic decrease of the summer precipitation sum that can reach the 20-25 % for 2071-2100. Whereas the winter precipitation sums are expected to increase by up 10-15 % relative to the amount in 1981-2010.

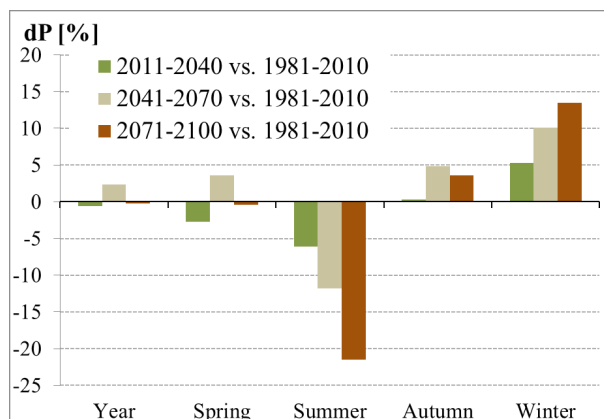


Figure 8. Change of the annual and seasonal precipitation sums for the investigated time periods (average of 12 regional climate model simulations for the investigated sub-region; figure 1)

Not only the temperature means but also the probability of temperature extremes are projected to increase. Daily maximum temperature above 30 °C and 35 °C are expected to be more frequent towards the end of the 21st century, the total number of hot days in summer can be doubled compared to the 1981-2010 period (figure 9).

Both the frequency of dry days (not shown) and heavy precipitation days (figure 9) can increase. In the reference period 1981-2010 the total number of days with larger than 20 mm precipitation in winter were 8, whereas it can be 16 for 2041-2070 and up to 22 for 2071-2100.

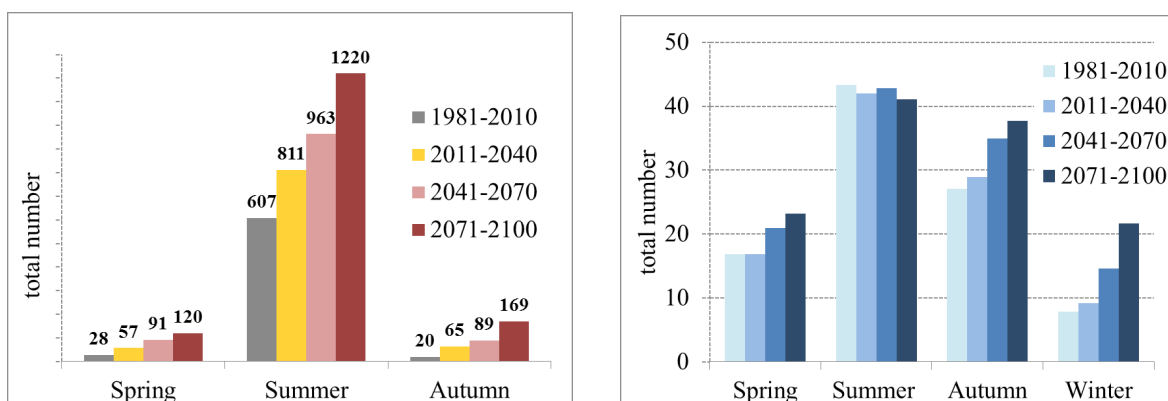


Figure 9. Total number of hot days (Tmax ≥ 30 °C; left) and heavy precipitation days (P ≥ 20 mm/day; right) for the investigated time periods (average of 12 regional climate model simulations for the investigated sub-region; figure 1)

### 3.6 *Expected impacts and possibilities for climate change adaptation for local scale sewage works*

Due to the higher frequency of extreme high temperatures in summer, the biological processes of decomposition can be much more intense that can result in rapid decrease of dissolved oxygen content in the wastewater. These anaerobe processes can lead to more frequent odor emissions, the wastewater becomes undiluted. The effects can be amplified by the projected dryer conditions.

The higher probability of intense precipitation events can result in increase of incoming wastewater amount. The illegal rainwater connections to the sewage network can also cause additional wastewater in the system. The intense precipitation events can have severe impacts on the sewage works and pump sewage systems. During the treatment process the biologic state of the wastewater can lose its balance, rubbish, tar, oil can infiltrate from the roads into the system that affects the quality of the wastewater.

Recommendations have been worked out including monitoring networks, technological solutions and environmental education (rise of the public awareness) in order to help the prevention as well as the adaptation and mitigation to the expected climate change impacts in the analysed sewage works (Antal 2014).

Prevention. Not only the sewerage systems but also rainwater drainage would be necessary in every settlements in order to prevent the additional wastewater in the sewage works. After treatment processes, the collected water in the rainwater storage tank can be used for irrigation that reduces the use of drinkwater.

Mitigation and adaptation. For reducing the odor emission, nitrate can be added in the sewage system. The sludge formation can lead to stoppages in the system. Therefore the open waste water pools should be covered. Appropriate manhole cover application techniques are required, in order to reduce the precipitation infiltration from the pavement. Well-sealed manhole with gasket would be a good solution. On the sewage works it would be useful to build a storm water storage tank, in order to pipe the water here before cleaning.

One of the most important recommendations would be the monitoring networks, because the operational activities need detailed data and information on the wastewater collection and treatment system. The sewage system should be often controlled by monitoring cameras. The regular control of the compression during sewer construction is very important.

It would be also essential to work out a water quality remediation plan especially in nature protected areas and water bodies that considers also the projected increase of the probability, intensity and severity of extreme temperature and precipitation events.

#### 4. Summary and conclusions

Climate change can have severe effects on ecological, economic and social systems, especially in the sensitive and vulnerable regions. The projected climate tendencies towards the end of the 21st century, the expected climate change impacts as well as the adaptation possibilities have been analyzed in the Carpathian basin on regional scale based on the results of a case study for forest ecosystems. A sewage works has been selected to introduce the local scale impacts and mitigation options.

Measurements and observations show already visible impacts of recurrent droughts in the forest ecosystems in the last decades. In case of the wastewater quality exceeds the defined threshold limit, it can be related to other factors like specific water consumption, a residence time in the sewer system as well as errors in wastewater treatment technologies rather than to specific weather and climate conditions. Climatic extremes can be a risk that amplify the effects of the other factors.

Based on the results of regional climate model simulations for the Carpathian basin, a significant increase of temperature and a strong decrease (up to 30-35 %) of the summer precipitation sum is projected towards the end of the 21st century. The frequency of extreme warm days as well as of the probability and severity of summer droughts and heavy precipitation events are projected to increase compared to the baseline period 1981-2010.

These climatic tendencies can lead to the loss of the climatically suitable area of the vulnerable tree species as well as to growth decline, reduction of potential production, the increase of insect gradations and in worst case to mass mortality events. Climate change threaten not only the natural ecosystems but also the industry and infrastructure on local scale. The warmer and dryer summer can lead to the intensification of decomposition processes in the summer months with more frequent problems related to odor emission. The intense precipitation events can result in increase of incoming wastewater amount.

Recommendations have been worked out for both forestry and sewage works including management options, monitoring networks, technological solutions and environmental education (table 1). For sewage works on local scale it was the first climate impact analyses in the investigated region, so far. From practical point of view the novelty of the results is the complex and coherent database that forms a useful tool for decision supporting in the affected sectors. In this way results of the introduced case studies can provide useful information for adaptation and mitigation strategies in all sectors on different spatial and temporal scales.

Table 1. Summary of the results of the regional and local scale case studies

Projected climate change		Expected impacts	Adaptation possibilities
<ul style="list-style-type: none"> <li>• increase of mean temperatures</li> <li>• more frequent hot days</li> <li>• decrease of summer precipitation sum</li> <li>• more frequent droughts</li> <li>• more frequent heavy precipitation events</li> </ul>	<i>Forestry</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• habitat and vitality loss</li> <li>• growth and production decline, mortality</li> <li>• insect gradations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• resistant and adaptive species</li> <li>• management options</li> </ul>
	<i>Sewage works</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• more intense decomposition</li> <li>• odor emission</li> <li>• increased wastewater runoff</li> <li>• wastewater quality problems</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• technological solutions</li> <li>• monitoring networks</li> <li>• water quality remediation plan for climate extremes</li> <li>• education</li> </ul>

**Acknowledgements:** The data are derived from the regional climate model simulation results of the ENSEMBLES project ([www.ensembles-eu.org](http://www.ensembles-eu.org)). The authors thank to the regional climate modelling group of the Climate Service Center Germany for the scientific background. The development of the Decision Support System „Agrárklíma” is supported by TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV joint EU-national research projects.

## References

- Antal V. (2014). *A szennyvíz minőségét befolyásoló klimatikus tényezők jövőbeni változása és várható következményei. [Climatic factors influencing wastewater quality - future changes and expected impacts.]* Diploma thesis, University of West Hungary (in Hungarian).
- Bartholy J., Pongrácz R., Gelybó Gy. (2007). *Regional climate change expected in Hungary for 2071-2100.* Applied Ecology and Environmental Research, 5:1-17.
- Berki I., Rasztoivits E., Móricz N., Mátyás Cs. (2009). *Determination of the drought tolerance limit of beech forests and forecasting their future distribution in Hungary.* Cereal Research Communications, 37: 613-616.

- Christensen J.H., Carter T.R., Rummukainen M., Amanatidis G. (2007). *Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project*. Clim. Change 81:1–6. doi:10.1007/s10584-006-9211-6.
- Czúcz B., Gálhidy L., Mátyás Cs. (2011). *Present and forecasted xeric climatic limits of beech and sessile oak distribution at low altitudes in Central Europe*. Ann. For. Sci., 68(1): 99-108.
- Führer E., Jagodics A., Juhász I., Marosi Gy., Horváth L. (2013). *Ecological and economical impacts of climate change on Hungarian forestry practice*. Időjárás, 117: 159-174.
- Gálos B., Lorenz Ph., Jacob D. (2007). *Will dry events occur more often in Hungary in the future?* Environ. Res. Lett., 2 034006 (9pp) doi: 10.1088/1748-9326/2/3/034006.
- Gálos B., Hänsler A., Gulyás K., Bidló A., Czimber K. (2014). *Future tendencies of climate indicators important for adaptation and mitigation strategies in forestry*. EGU General Assembly, Vienna, 2014; Geophysical Research Abstracts Vol. 16 EGU2014-4942.
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge (<http://www.climatechange2013.org/>)
- IPCC (2007). *Climate change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change <http://www.ipcc.ch>
- Jacob D., Kotova L., Lorenz P., Moseley Ch., Pfeifer S. (2008). *Regional climate modeling activities in relation to the CLAVIER project*. Időjárás, 112: 141-153.
- van der Linden P., Mitchell J.F.B. eds. (2009). *ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project*. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK 160pp.
- Jacob D., Kotova L., Lorenz P., Moseley C., Pfeifer S. (2008). *Regional climate modeling activities in relation to the CLAVIER project*. Időjárás 112: 141–153.
- Jacob D., et 38 coauthors EURO-CORDEX (2013). *New high-resolution climate change projections for European impact research*. Reg Environ Change, DOI 10.1007/s10113-013-0499-2.
- Kjellström E., Nikulin G., Hansson U., Strandberg G., Ullerstig A. (2011). *21st century changes in the European climate: uncertainties derived from an ensemble of regional climate model simulations*. Tellus, 63A(1), 24–40, doi:10.1111/j.1600-0870.2010.00475.
- Lakatos F., Molnár M. (2009). *Mass mortality of beech on Southwest Hungary*. Acta Silvatica & Ligniaria Hung., 5: 75–82.
- Ivan der Linden, P. – Mitchell, J. F. B. (Eds) (2009): *ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project.*, Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK, 160pp.



- Mátyás Cs. (2009). *Ecological perspectives of climate change in Europe's continental, drought-threatened Southeast*. In: Groisman P. Y., Ivanov S. V. eds. Regional aspects of climate-terrestrial-hydrologic interactions in non-boreal Eastern Europe NATO. Science Series, Springer Verl. 31-42 pp.
- Mátyás Cs., Berki I., Czúcz B., Gálos B., Móricz N., Rasztoivits E. (2010). *Future of beech in Southeast Europe from the perspective of evolutionary ecology*. Acta Silv. & Lign. Hung., 6: 91-110.
- Mátyás Cs., Gálos B., Berki I., Bidló A., Drüsler Á., Eredics A., Illés G., Móricz N., Rasztoivits E., Czimmer K. (2013). *A Decision Support System for Climate Change Adaptation in Rainfed Sectors of Agriculture for Central Europe*. EGU General Assembly, Vienna, 7-12 April, 2013; Geophysical Research Abstracts Vol. 15, EGU2013-2942.
- Szépszó G. (2008). *Regional change of climate extremes in Hungary based on different regional climate models of the PRUDENCE project*. Időjárás 112: 265–83.
- Vautard R. et 25 coauthors (2013). *The simulation of European heat waves from an ensemble of regional climate models within the EURO-CORDEX project*. Clim Dyn 41: 2555–2575, DOI 10.1007/s00382-013-1714-z
- Vautard R., Gobiet A., Sobolowski S., Kjellström E., Stegehuis A., Watkiss P., Mendlik T., Landgren O., Nikulin G., Teichmann C., Jacob D. (2014). *The European climate under a 2 °C global warming*. Environ. Res. Lett. 9, 034006 (11 pp) doi:10.1088/1748-9326/9/3/034006.



CHAPTER/  
CAPÍTULO  
8

NATURAL HAZARDS & CLIMATE CHANGE  
RIESGOS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Santamarta Juan C., Hernández-Gutiérrez L.E. & Arraiza Bermúdez-  
Cañete M<sup>a</sup>. Paz (Ed.)



Colegio de Ingenieros  
de Montes (Ed.)

ISBN 978-84-617-1060-7

## Polluted Soil Restoration

Henn Korjus <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> *Department of Forest Management, Estonian University of Life Sciences, Estonia*

---

### Abstract

Soil pollution occurs often with mining, industrial production, accidents or deliberate human activities. Industrialization and intensive use of chemical substances such as petroleum oil, hydrocarbons, solvents, pesticides and heavy metals are contributing to environmental pollution. Natural rehabilitation processes in contaminated soils are slow and can lead to leaching the contaminants to ground water. Soil restoration treatments are important to assure the effective results. Bioremediation facilitates maximizing the benefits and minimizing the cost of treatments.

© 2014 The Authors. Published by Colegio de Ingenieros de Montes <http://www.ingenierosdemontes.org>

*Peer reviewed*

*Keywords: Soil pollution, Bioremediation, Metal removal*

---

---

\* Henn Korjus. Tel.: +372 5140550

*E-mail address:* [henn.korjus@gmail.com](mailto:henn.korjus@gmail.com)

## 1. Soil pollution

Contaminants are various unwanted substances introduced into the environment. Harmful effects and damages by the contaminants lead to pollution process by which natural or man-made resource is made not suitable for use by humans and other organisms. Pollutants have been always present and life on the Earth has adapted and evolved against them. With pollutant substances from geothermal and volcanic activities, meteorites and space dust which are about 100 tonnes of organic dust per day, the Earth is forever a polluted planet (Marcano et al., 2003). Industrialization and intensive use of chemical substances such as petroleum, hydrocarbons (e.g. aliphatic, aromatic, polycyclic aromatic hydrocarbons, benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes), solvents, pesticides and heavy metals are contributing to environmental pollution. Large-scale pollution because of man-made chemical substances and to some extent by natural substances has become a global concern now. Leakage and run-offs of many organic chemicals such as pesticides have led to their presence even in rain, fog and snow. Every year about 1.7 to 8.8 million m<sup>3</sup> of oil is released into the water in the world. More than 90% of such oil pollution is directly caused by accidents and human activities including deliberate waste disposal (Zhu et al., 2001).

Polycyclic aromatic hydrocarbons are present in soil at levels varying from 1 µg/kg to 300 g/kg, depending on the contamination from burning of fossil fuels, gasification and liquefaction of coal, burning of waste and wood treatment processes (Bamforth and Singleton, 2005). Incomplete combustion of organic substances gives out about 100 different polycyclic aromatic hydrocarbons which are the ever-present pollutants. Except for a few polycyclic aromatic hydrocarbons used in medicine, dyes, plastics and pesticides, they are rarely of industrial origin (US EPA, 1998). Some polycyclic aromatic hydrocarbons and their epoxides are highly toxic, and mutagenic, also to micro-organisms. Polychlorinated biphenyls are used in hydraulic fluids, plasticizers, adhesives, lubricants, flame retardants and dielectric fluids in transformers and they are toxic, carcinogenic and degrade slowly. Polychlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans are recalcitrant chemicals and some of their congeners are carcinogenic to humans (Kaiser, 2000). Many solvents such as carbon tetrachloride pollute the environments due to large-scale industrial production and human use. Pesticides are regularly used in agriculture and in public health worldwide. Most likely, the environmental effects of many chemical substances are more important than the benefits they give to humans and require their degradation after the intended uses (Megharaj et al., 2011).

Metals contamination is a serious problem at many contaminated sites, approximately 75% of contaminated areas face that problem. The most commonly occurring metals at contaminated sites are lead (Pb), chromium (Cr), arsenic (As), zinc (Zn), cadmium (Cd), copper (Cu) and mercury (Hg). The presence of metals in groundwater and soils can cause a significant threat to human health and ecosystems. The chemical form of the metals influences its solubility, mobility, and toxicity in polluted ground-water systems. The chemical form of metals depends on the source of the metal waste and the soil and ground-water chemistry at the site. Typically metals are relatively immobile in subsurface systems as a result of precipitation or adsorption reactions. For this reason, remediation activities at metals-contaminated sites have focused on the solid-phase sources of metals i.e. contaminated soil, sludge, waste or debris (Evanko and

Dzombak, 1997).

If any site is suspected of being contaminated there is a need to assess the contamination. The historical use of the site and the materials used and produced on site will guide the assessment strategy and chemical analysis to be done. Often nearby sites owned by the same company or which are nearby and have been reclaimed, levelled or filled are also contaminated even where the current land use seems safe. Also is important to consider off site contamination of nearby sites often through decades of emissions to soil, groundwater and air. Dust, topsoil, surface and groundwater samples of neighbouring areas should also be tested, both before and after any remediation. This is a controversial action as (i) nobody wants to pay for the cleaning up of polluted site; (ii) if neighbouring areas are found to be contaminated it may affect the value of their property; (iii) nobody wants to pay for the pollution assessment.

Restoration means gradual transition of ecosystem (including soil) from a degraded state to a “natural” state (Stanturf and Madsen, 2002). The ecological processes should support restoration of ecosystem after degradation and disturbance as they are self-sustaining and do not require external inputs (Bradshaw, 1997).

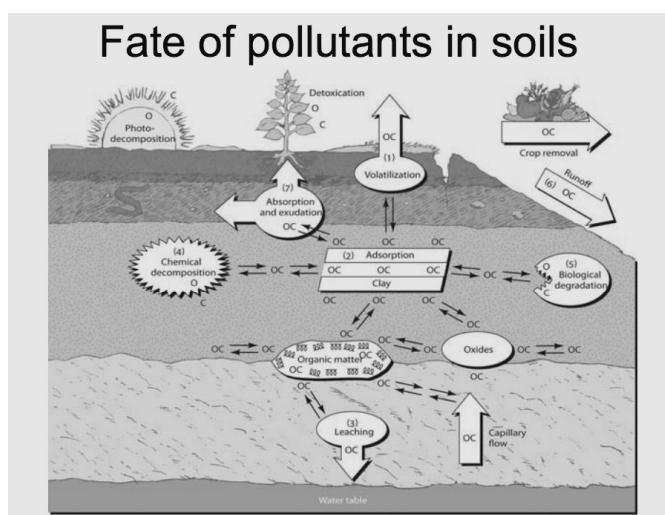


Figure 1. Basic processes associated with contaminants in soil (Source: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Fateofpollutantsinsoils.jpg>).

## 2. Bioremediation of polluted soils

Bioremediation is defined as a process that uses micro-organisms, green plants or their enzymes to treat the polluted sites for regaining their original condition (Glazer and Nikaido, 1995). Biological and/or chemical remediation is the only option as the problem of pollution has to be solved without transferring to the future. As the knowledge demand and complexities

vary for different bioremediation treatments, a better understanding of the premises together with the limitations of bioremediation aids in maximizing the benefits and minimizing the cost of treatments (Megharaj et al., 2011).

Phytoremediation is a bioremediation technology that uses green plants to remediate soil, sediment, surface water, and groundwater environments contaminated with toxic metals, organics and radionuclides (Pradhan et al., 1998). Phytoremediation is an effective, non-intrusive and inexpensive tool for soil remediation. It is more cost-effective than alternative mechanical or chemical methods of removing contaminants from the soil. The ability of plants to degrade certain organic pollutants is observed by the accelerated disappearance of organic chemicals in vegetated soils compared with surrounding nonvegetated soils (Burken and Schnoor, 1996; Cunningham and Berti, 1993).

The process of bioremediation depends on the metabolic potential of micro-organisms to detoxify or transform the pollutant molecule, which is dependent on both accessibility and bioavailability (Antizar-Ladislao, 2010). Following entry into the soil, pollutants rapidly bind to the mineral and organic matter (solid phases) via a combination of physical and chemical processes. Sorption, complexation and precipitation constitute the pollutant–soil interaction. The ability of soils to release (desorb) pollutants determines its susceptibility to microbial degradation, thereby influencing effectiveness of the bioremediation process. In soil aggregates which are the smallest ‘composite units’ in the heterogeneous soil environment, bioavailability is limited by transport of the pollutant molecule to a microbial cell, i.e., diffusion of pollutant out of a soil aggregate to the cell attached to the external surface of the aggregate (Megharaj et al., 2011).

Bioremediation methods are generally categorized as *in situ* or *ex situ*. *In situ* bioremediation means treating the polluted soil at the site while *ex situ* involves the removal of the polluted soil to be treated elsewhere (Aggarwal et al., 1990). *In situ* bioremediation is the process where organic pollutants are biologically degraded under natural conditions to either carbon dioxide and water or an attenuated transformation product. It is slower, low-cost, low maintenance, environment-friendly and sustainable approach for the cleanup of polluted sites. Ground water pollution because of contaminant mobility is possible with *in situ* bioremediation. The cost of *ex situ* bioremediation approaches can be higher than *in situ* methods because of the need for excavation of the contaminated soil for treatment. In addition, the rate of biodegradation and the consistency of the process outcome differ between the *in situ* and *ex situ* methods. While both methods of remediation depend essentially on microbial metabolism, the *in situ* bioremediation methods are preferred for ecological restoration of contaminated soil and water environments (Jorgensen, 2007). Three different types of *in situ* bioremediation process are (i) bioattenuation which depends on the natural process of degradation, (ii) biostimulation where intentional stimulation of degradation of chemicals is achieved by addition of water, nutrient, electron donors or acceptors, and (iii) bioaugmentation where the microbial members with proven capabilities of degrading or transforming the chemical pollutants are added (Madsen, 1991). The suitability of a particular bioremediation technology is determined by several factors, such as site conditions, initial population of microorganisms and the type, quantity and toxicity of pollutants present in soil.

Bioremediation technologies based on biostimulation and bioaugmentation include bioventing, land farming, bioreactor, and composting (Megharaj et al., 2011). From these technologies which are at different stages of development in terms of experimentation and acceptance, the choice of technology option can be made considering many factors which include the class of organic contaminants and the cost of operation. Sabaté et al. (2004) propose a protocol for biotreatability assays in two phases, for the successful application of bioremediation technology. In the first phase, the metabolic activity of indigenous microorganisms at the polluted site and the presence of possible inhibitors are to be examined to know whether bioremediation itself is appropriate. In the second phase, the influences of nutrients, surfactant, and specialized inocula amendment are to be evaluated in microcosms to identify the appropriate treatment for the polluted site. Improvements in reliability, cost efficiency and speed of remediation can be achieved by various methods ranging from minimal intervention (bioattenuation), through *in situ* introduction of nutrients and/or bacterial inocula, changing of physicochemical conditions or by novel methods (Romantschuk et al., 2000).

The fate of pollutants is largely influenced by the processes of degradation and sorption which refers to both adsorption, occurring on surfaces (e.g., between a charged compound and clay) and absorption, i.e., the sorption beyond the surface into a separate portion defined by the surface (e.g., partitioning into organic matter). For successful bioremediation treatment, the pollutants as substrates must be available and accessible either to microorganisms or their extracellular enzymes for metabolism to occur. Another important limiting factor is microbial movement. Because of low bioavailability and accessibility of pollutants, biphasic kinetics of biodegradation, consisting of an initial period of fast degradation, followed by a second, much slower phase, is commonly observed in soils and sediments during bioremediation (Semple et al., 2004).

Toxicity testing is an integral part of the bioremediation as reduction in toxicity is one aim and characteristic of bioremediation process. The toxicity of a pollutant to microorganisms is also a direct measure of bioavailability (Ronday et al., 1997). Megharaj et al. (2000) suggested that chemical analysis in conjunction with bioassays is needed for toxicological estimations. Since no single organism is sensitive to all kind of different pollutants, it is relevant to include several bioassays, by involving different trophic levels of the food chain.



Figure 2. Bioremediation of contaminated soil (Source: <http://www.tipner.co.uk>).

### 3. Metal removal

Toxic metals are potential long-term sources for continued soil contamination. Bioaccumulation of these metals may increase the risks associated with these metals and necessitate the removal of these metals from the soil. Maximum permissible concentration limits of some metals in soil is presented in Table 1. The physical and chemical form of the metal contaminant in soil or water strongly influences the selection of the appropriate remediation treatment approach. Information about the physical characteristics of the site and the type and level of contamination at the site must be obtained to enable accurate assessment of site contamination and remedial alternatives. The importance of adequate, well-planned site characterization to selection of an appropriate cost-effective remediation approach has been discussed extensively but cannot be overemphasized. The contamination in the groundwater and soil should be characterized to establish the type, amount, and distribution of contaminants across different media (Evanko and Dzombak, 1997).

Once the site has been characterized, the desired level of each contaminant in soil and groundwater has to be determined. This is done by comparison of observed contaminant concentrations with soil and ground-water quality standards for a particular regulatory domain, or by performance of a site-specific risk assessment. Remediation goals for metals may be set as desired concentrations in groundwater, as total metal concentration in soil, as leachable metal in soil, or as some combination of these. Several technologies exist for the remediation of metals-contaminated soil and water. These technologies are contained within five categories of general approaches to remediation: isolation, immobilization, toxicity reduction, physical separation and extraction. These are the same general approaches used for many types of contaminants in the subsurface. As is usually the case, combinations of one or more of these approaches are often used for more cost-effective treatment of a contaminated site (Evanko and Dzombak, 1997).

Selective excavation and stockpiling of contaminated and non-contaminated materials reduces the volume of contaminated material requiring remediation. *Ex situ* and *in situ* treatments can be used, *in situ* treatments are more preferable if soil contamination is at low levels.

Table 1. Maximum permissible concentration limits of some metals in soil (Saleem et al., 2012).

Metal	Maximum permissible concentration of metal in soil (mg/kg)	
	US-EPA standard	Dutch standard
Arsenic (As)	14	29

Cadmium(Cd)	1.6	0.8
Chromium (Cr)	120	100
Copper (Cu)	100	36
Lead (Pb)	60	85
Mercury (Hg)	0.5	0.3
Nickel (Ni)	32	35
Selenium (Se)	1.6	0.7
Zinc (Zn)	220	140

## References

Aggarwal, P.K., Means, J.L., Hinchee, R.E., Headington, G.L., Gavaskar, A.R. (1990). *Methods to select chemicals for in-situ biodegradation of fuel hydrocarbons*. Florida: Tyndall AFB, Air Force Engineering and Services Center.

Antizar-Ladislao, B. (2010). *Bioremediation: working with bacteria*. Elements, 6:389–94.

Bamforth, S.M., Singleton, I. (2005). *Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons: current knowledge and future directions*. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 80:723–36.

Bradshaw, A.D. (1997). *What do we mean by restoration?* In: Urbanska, K.M., Webb, N.R., Edwards, P.J. (Eds.) *Restoration ecology and sustainable development*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 8-14.

Burken, J.G., Schnoor, J.L. (1996). *Phytoremediation: plant uptake of atrazine and role of root exudates*. Journal of Environmental Engineering, 122 (11): 958-963.

Cunningham, S.D., Berti, W.R. (1993). *Remediation of contaminated soils with green plants: an overview*. In *Vitro Cellular & Developmental Biology*, 29(4): 207-212.

Evanko, C.R., Dzombak, D.A. (1997). *Remediation of metals-contaminated soils and groundwater*. GWRTAC, Technology Evaluation Report TE-97-01, 53 pp.

Glazer, AN., Nikaido, H. (1995). *Microbial biotechnology: fundamentals of applied microbiology*. New York: Freeman.



- Jorgensen, K.S. (2007). *In situ bioremediation*. *Advances in Applied Microbiology*, 61:285–305.
- Kaiser, J. (2000). *Just how bad is dioxin?* *Science*, 288:1941–1944.
- Madsen, E.L. (1991). *Determining in situ biodegradation: facts and challenges*. *Environmental Science & Technology*, 25:1663–73.
- Marcano, V., Benitez, P., Palacios-Pru, E. (2003). *Acyclic hydrocarbon environments >n-C18 on the early terrestrial planets*. *Planet Space Science*, 51:159–66.
- Megharaj, M., Ramakrishnan, B., Venkateswarlu, K., Sethunathan, N., Naidu, R. (2011). *Bioremediation approaches for organic pollutants: A critical perspective*. *Environment International*, 37:1362–1375.
- Megharaj, M., Singleton, I., McClure, N.C., Naidu, R. (2000). *Influence of petroleum hydrocarbon contamination on microalgae and microbial activities in a long-term contaminated soil*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 38:439–45.
- Pradhan, S.P., Conrad, J.R., Paterek, J.R., Srivastava, V.J. (1998). *Potential of phytoremediation of PAHs in soil at MGP sites*. *Journal of Soil Contamination*, 7:467–480.
- Romantschuk, M., Sarand, I., Petänen, T., Peltola, R., Jonsson-Vihanne, M., Koivula, T., Yrjälä, K., Haahtela, K. (2000). *Means to improve the effect of in situ bioremediation of contaminated soil: an overview of novel approaches*. *Environmental Pollution*, 107:179–85.
- Ronday, R., van Kammen-Polman, A.M.M., Dekker, A. (1997). *Persistence and toxicological effects of pesticides in top soil: use of the equilibrium partitioning theory*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16:601–607.
- Sabaté, J., Viñas, M., Solanas, A.M. (2004). *Laboratory-scale bioremediation experiments on hydrocarbon-contaminated soils*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 54:19–25.
- Saleem, M., Essa, M.H., Chakrabarti, M.H., Low, C.T.J., Hajimolana, S.A., Hussain, M.A., Hashim, M.A., Islam, M.S. (2012). *An economical means for remediating a multiple-metal contaminated soil using electro-kinetic technology under natural conditions*. *International Journal of Electrochemical Science*, 7: 7809 – 7822.
- Semple, K.T., Doick, K.J., Jones, K.C., Burauel, P., Craven, A., Harms, H. (2004). *Defining bioavailability and bioaccessibility of contaminated soil and sediment is complicated*. *Environmental Science & Technology*, 38:228A–231A.
- Stanturf, J.A., Madsen, P. (2002). *Restoration concepts for temperate and boreal forests of North America and Western Europe*. *Plant Biosystems*, 136: 143–158.
- US EPA (1998). *Great Lakes National Program Office. Realizing remediation: a summary of contaminated sediment remediation activities in the Great Lakes Basin*. US Environmental Protection Agency; <http://www.epa.gov/greatlakes/sediment/realizing/>.
- Zhu, X., Venosa, A.D., Suidan, M.T., Lee, K. (2001). *Guidelines for the bioremediation of marine shorelines and freshwater wetlands*. US EPA; <http://www.epa.gov/oilspill/pdfs/bioremed.pdf>.



CHAPTER/  
CAPÍTULO  
9

NATURAL HAZARDS & CLIMATE CHANGE  
RIESGOS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Santamarta Juan C., Hernández-Gutiérrez L.E. & Arraiza Bermúdez-  
Cañete M<sup>a</sup>. Paz (Ed.)



Colegio de Ingenieros  
de Montes (Ed.)

ISBN 978-84-617-1060-7

## Análisis espacial de la evolución de los cambios de uso de suelo y vegetación, mediante teledetección y SIG en el tramo medio del río Jarama.

Bernabe A. V. <sup>a\*</sup>, Riesco J.A. <sup>b</sup>, Giménez M.C. <sup>c</sup> y García J.L. <sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Postgrado de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados; México. Carret México- Texcoco Km 36.5; Montecillos; Estado de México*

<sup>b</sup> *Prosecar. Proyectos y servicios cartográficos, c/ Bañeza, 43. 28035 Madrid*

<sup>c</sup> *Escuela Técnica Superior de Ingeniero de Montes, Forestales y del Medio Natural. UPM. Madrid*

---

### Abstract

En este trabajo se ha estudiado la dinámica espacial de los cambios en el uso del suelo ocurridos durante las últimas tres décadas en un área de 23.026 ha ubicadas en el tramo medio del río Jarama. Las coberturas del suelo fueron obtenidas a partir de dos imágenes LANDSAT correspondientes a los años 1984 y 2013. Los resultados confirman que las principales transformaciones del paisaje son consecuencia del desarrollo del arbolado entre el 20-70% de cubierta y pastizales permanentes con un balance neto positivo del 152.24 % y un 473.11 % respectivamente. No obstante también arrojan resultados netos negativos desde el improductivo, los cultivos arbóreos y viñedos de secano, el erial a pastos, el arbolado con cubierta superior al 70% y los cultivos de regadío. Por todo ello, estos cambios hacen pensar que la cuenca objeto de estudio ha cambiado en gran medida la formación de escorrentías y como consecuencia la producción de sedimentos.

© 2014 The Authors. Published by Colegio de Ingenieros de Montes <http://www.ingenierosdemontes.org>

*Peer reviewed*

**Keywords; Ecosystem; Degraded lands; Restoration**

---

\* Corresponding author name. Tel.: +34-913366394

E-mail address: [josel.garcia@upm.es](mailto:josel.garcia@upm.es)

---

## **1. Introducción.**

En las últimas décadas el cambio del uso del suelo se ha constituido como uno de los factores plenamente implicados en el cambio global, alterando procesos y ciclos. Esto parece trascendental si se considera que es a través de estos cambios donde se materializa la relación entre el hombre y el medio ambiente (Lambin et al., 1999).

Los cambios del uso del suelo ya sean legales o ilegales son cada día más frecuentes. Según Orozco et al. (2004) el avance de la frontera agrícola hacia superficies forestales ha traído como consecuencia la aparición de una superficie de labor frágil y con alta susceptibilidad a los procesos erosivos.

La degradación de suelos y su pérdida de productividad representa un grave problema socioeconómico y en este trabajo se pretende dar respuesta mediante la Teledetección. La degradación puede tener distintos orígenes como consecuencia de procesos de erosión, contaminación, agotamiento de nutrientes, etc. (FAO, 1996).

El cambio de uso del suelo se ha convertido en un importante factor del cambio climático regional y global (Houghton et al. 1999, Chase et al. 2000, Claussen et al. 2001, DeFries et al. 2002, Brovkin et al. 2004); es considerado la primera causa de alteración del suelo (Matson et al. 1997, Lambin et al. 2001, Foley et al. 2005); y afecta, fuertemente, la capacidad de los sistemas biológicos para soportar y satisfacer las necesidades humanas (Vitousek et al. 1997, Foley et al. 2005). Tales cambios incrementan, a su vez, la vulnerabilidad de ecosistemas y personas frente a desastres naturales (Lambin et al. 2001). Sin embargo, la pérdida de biodiversidad es el impacto más evidente y directo generado por la transformación de las principales coberturas naturales. La pérdida, modificación y fragmentación de hábitats han provocado un fuerte declive de la biodiversidad a nivel mundial (Pimm & Raven 2000, Sala et al. 2000). Según Sala et al. (2000), el cambio de uso del suelo es el factor que se espera tenga el impacto global más importante sobre la biodiversidad al año 2100, principalmente, debido a sus devastadores efectos sobre la disponibilidad de hábitat y extinción de especie. Se estima que durante el último siglo, la mayor parte de los ecosistemas mundiales fueron afectados por el cambio de uso de la tierra (Vitousek et al. 1997). La mayoría de los impactos se han producido por la pérdida y/o transformación de ecosistemas boscosos y praderas naturales en terrenos habilitados para el desarrollo agrícola, ganadero, forestal y urbano/industrial (Sala et al. 2000).

El objetivo de este estudio es de analizar la distribución espacial de las tendencias de uso de suelo y vegetación, mediante Imágenes Satelitales LANDSAT en el Tramo Medio del Río Jarama España, con el fin de realizar una descripción cuantitativa de los cambios de la cobertura y uso del suelo en la zona de estudio, donde se aprecie la dinámica entre categorías, asimismo realizar un análisis temporal de la vegetación y usos de suelo en el período 1984 – 2013, período en el que se han realizado los dos grandes inventarios de erosión en España.

Nuestro objeto de estudio se encuentra situada en la cuenca del río Tajo, una de las principales cuencas españolas que recorre la mitad de la Península Ibérica para acabar vertiendo sus aguas en Lisboa al Océano Atlántico. El tramo medio del río Jarama, objeto de este estudio

se encuentra situado entre los 40°50' y los 41°03' de latitud Norte y entre los 3°15' y 3°25' de longitud Oeste. Las mayores altitudes de la cuenca se encuentran en la zona norte, con 1.810 m. en el pico de Centenera y 1.436 m. en Cabeza de Almiruete siendo la altitud mínima la de 730 m. Debido a que el tramo de río tiene una extensión reducida, las influencias diferenciales del clima no son apreciables, estando condicionada la evolución de los suelos a factores litológicos y topográficos del terreno.

La precipitación media anual es de unos 500 mm, y el periodo de sequía estival suele durar unos cuatro meses. Además de éste, suele presentarse otro de sequía invernal de unos dos o tres meses de duración, como es característico de los climas mediterráneos peninsulares.

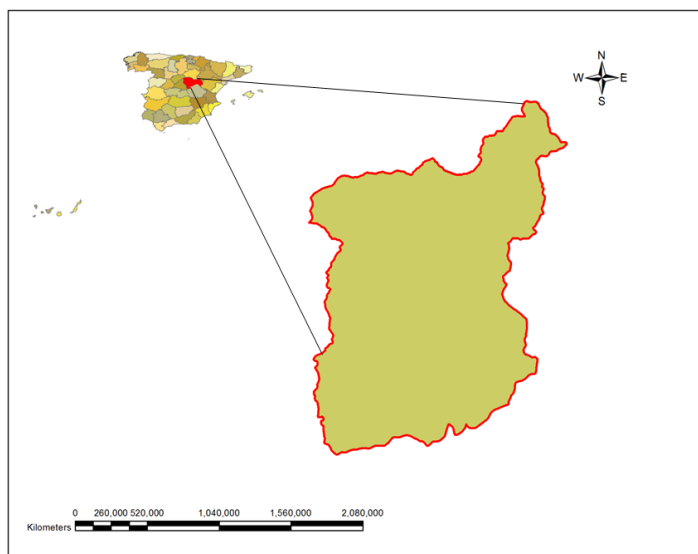


Figure 2. Mapa de localización del tramo medio del río Jarama en España



Figure 3. Aspecto del paso del Arroyo del Lugar en Puebla de Valles (Guadalajara).

## 2. Metodología.

El análisis de la dinámica de la cobertura y uso del suelo se ha realizado con base en dos imágenes de satélite tipo LANDSAT TM y ETM, de agosto 1984 y 2013 (path 201, row 032). El procesamiento digital se realizó con el software ERDAS IMAGINE 2010 operando bajo plataforma Silicon Graphics con sistema operativo IRIX versión 5.3. Los procesos de edición y diseño de las coberturas topológicas necesarias para su uso en Arc View (versión 3.2) se realizó en AUTOCAD y ARCAD. El Sistema de Información Geográfica (SIG) utilizado ha sido ArcGIS Versión 10.0. El modelo metodológico utilizado integra las técnicas del procesamiento digital de imágenes de satélite con el análisis espacial de la información temática georreferenciada, a través de un SIG. Los procesos desarrollados fueron los siguientes:

- i) Pre-procesamiento digital de imágenes
- ii) Procesamiento digital de imágenes
  - a) Definición digital de las categorías (fase de entrenamiento).
  - b) Agrupación de los píxeles de la imagen por categorías (fase de asignación).
  - c) Elaboración del mapa preliminar.
- iii) Elaboración del mapa final
  - a) Verificación de campo
  - b) Captura de información de campo y ajuste de la clasificación
  - c) Edición mapa final
- iv) Análisis de la información y cuantificación de los cambios.

El cambio de uso del suelo fue cuantificado usando una matriz de transición que consiste en una tabla simétrica de doble entrada en cuyos ejes se presentan las coberturas del suelo y en cada celda la superficie de las áreas que experimentaron cambios entre los años 1984 y 2013. Las celdas situadas en la diagonal de la matriz contienen la superficie de aquellas áreas que no experimentaron cambios durante el período (López et al. 2001, Aguayo et al. 2007).

La matriz de transición fue construida a partir de la superposición y álgebra de mapas. Las tasas de cambio fueron calculadas utilizando la siguiente fórmula:

$$P = \frac{100}{t_2 - t_1} \cdot \ln \frac{s_2}{s_1}$$

donde, S1 y S2 corresponden a la superficie en el tiempo t1 y t2, respectivamente, y P, es el porcentaje de cambio por año (FAO 1996, Echeverría et al. 2006).

### 3. Resultados.

El análisis de los datos de la matriz de transición reveló que alrededor del 70 % del área de estudio ha sufrido modificaciones en casi todas las coberturas de suelo identificadas dentro del área de estudio (Tabla 2). Las coberturas que experimentaron mayores cambios corresponden a pastizales permanentes, arbolado con cabida CV 0.2 - 0.7, cultivos arbóreos y viñedos de secano, cultivos de regadío, erial a pastos CV < 0.2, arbolado con cabida CV > 0.7 y el improductivo. En efecto, los pastizales permanentes aumentaron casi 6 veces registrada en el año 1984 (Figura 5). En los cultivos arbóreos y viñedos de secano, cultivos de regadío, erial a pastos CV < 0.2 e improductivo aun cuando el cambio neto fue negativo, la mayor parte de los suelos incorporados a esta actividad se atribuyen a la habilitación de pastizales permanentes, arbustos y matorral y cultivos herbáceos de secano (Tabla 2). La Matriz nos indica que el abandono de los cultivos de regadío y cultivos arbóreos y viñedos de secano dio paso a una gran proporción de pastizales permanentes, arbustos y matorral y arbolado con cabida CV 0.2 - 0.7. En tanto que el erial a pastos CV < 0.2 registro una pérdida de casi el 90 % en 29 años (Tabla1).

#### *Pastizales permanentes*

El avance de pastizales permanentes, registraron el valor de ganancia más alto para el período de estudio (Figura 3), En la Tabla 2, explica que gran parte de los cambios en las últimas tres décadas, el 36.6 % del incremento neto ocurrió sobre improductivo, el 25.2 % ocupando áreas cubiertas por arbustos y matorral, 22.3 % por cultivos herbáceos de secano, el 21,2 % por arbolado con cabida CV > 0.7, el 18 .4% erial a pastos con cabida CV < 0.2, el 17.0 % por cultivos arbóreos y viñedos de secano y solo un 11.4 % por arbolado con cabida CV 0.2 - 0.7.

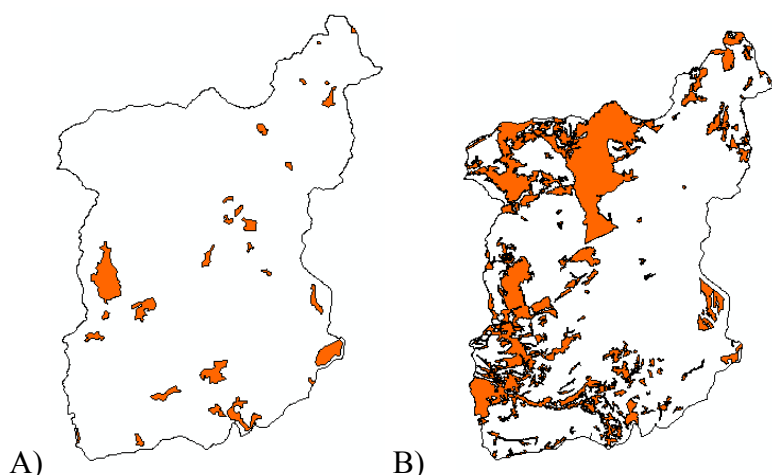


Figura 3. Mapa de cambio de los pastizales permanente donde se aprecia el aumento de casi seis veces durante el año 1984 (A) y el año 2013 (B).

#### *Arbolado con cabida CV 0.2 - 0.7*

Durante el período de análisis esta cobertura registró una ganancia del 152.2 % respecto a la superficie ocupada el año 1984. Esta dinámica generó una tasa de cambio anual positiva del 3.2 % (Tabla 2). Las ganancias adquiridas fueron por efecto de pérdidas de arbolado con cabida CV > 0.7 con un 32.7 %, el improductivo con 13.3%, cultivos herbáceos de secano 10.4%, erial a pastos CV < 0.2 con 9.4 %, arbustos y matorral 9.1%, pastizales permanentes con 4.7 % y solo un 1 % en pérdidas de cultivos arbóreos y viñedos de secano.

#### *Erial a pastos CV < 0.2*

Entre 1984 y 2013 fue posible cuantificar una pérdida neta de 3843.20 hectáreas erial a pastos CV < 0.2 que equivale al 88.3 % del total existente en el año 1984. Durante este período fue reemplazado a una tasa del -7.4 % anual (Tabla 2). El 4.8 % de las pérdidas fue producto de la sustitución por el improductivo; el 3.9 % pasó a la clase de cultivos herbáceos de secano; el 3.8 % lo sustituyó los cultivos de riego, 2.5 % por arbolado con cabida CV > 0.7, 2.6 por cultivos arbóreos y viñedos de secano, 1.4% por pastizales permanentes, 0.7 % por arbustos y matorral, 0.3 % por arbolado con cabida CV 0.2 - 0.7 y solo el 1.7 % se mantuvo constante durante el período.

*Arbolado con cabida CV > 0.7*

Durante el periodo de estudio esta clase tuvo una pérdida de 3012 hectáreas, con un porcentaje de cambio por año de -4.8. Fueron reemplazados por arbolado con cabida CV 0.2 - 0.7 con un 17.1 %, seguida de todas las demás coberturas con excepción de los cultivos de regadío en un rango de 0.8 y 2.1 %.

*Arbustos y matorral*

Sufrieron cambios positivos de un 30.17 a un 36.52 % durante las últimas tres décadas, con un balance neto de 12.6% y un porcentaje de cambio por año de 0.4 (Tabla 1). Las ganancias se obtuvieron de erial a pastos CV < 0.2, cultivos arbóreos y viñedos de secano y cultivos de regadío perdiendo 50.4, 39.3 y 31.7 % de su cobertura respectivamente (Tabla 2).

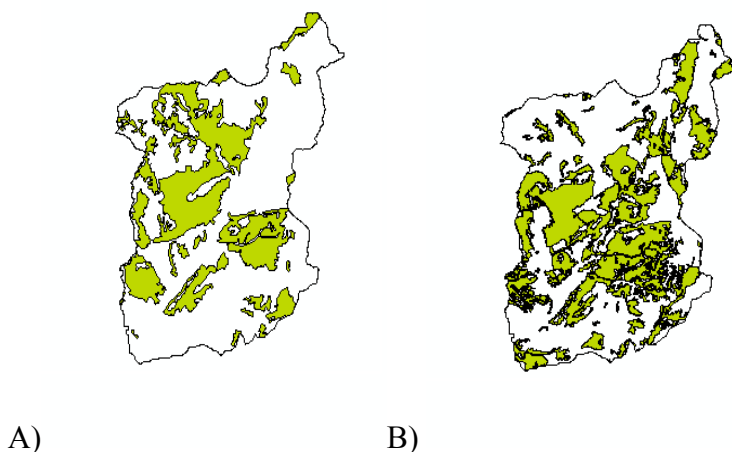


Figura 4. Mapa de cambio de *Arbustos y matorral* donde se aprecia un incremento del 12.6 %, que representa 901 hectáreas del año 1984 (A) al año 2013 (B).

*Cultivos herbáceos de secano:*

Esta clase de cobertura tiene un incremento de 666 hectáreas durante el periodo de estudio, con un balance neto de 21.7 % y un porcentaje de cambio por año de 0.7 (Tabla 1). Sus ganancias provienen del abandono de los cultivos de regadío con un 64.5%, cultivo arbóreos y viñedos de secano con un 36.7%, pastizales permanentes con un 22.4%, erial a pastos CV < 0.2 con un 17.7%, arbustos y matorral con 9.2% , improductivo con un 8.6%, arbolado con cabida CV 0.2 – 0.7 con un 3.8% y Arbolado con cabida CV > 0.7 con un 1.1 % (Tabla 1).



*Cultivos arbóreos y viñedos de secano:*

Según el análisis de la Tabla 1, los resultados arrojan una pérdida de 431 hectáreas, que corresponden a un 97.9 % de balance neto negativo y un cambio por año negativo porcentual de 13.3. Estas pérdidas cambiaron a los cultivos herbáceos de secano, pastizales permanentes y arbolado con cabida CV 0.2 – 0.7, con un 54.4, 22.3 y 10.4 % respectivamente.

*Cultivos de regadío:*

Tienen una pérdida de 100 hectáreas, equivalente al 92.8 % de balance neto negativo y un porcentaje de cambio por año de 9.1% negativo (Tabla 1). Estas pérdida se manifestaron por el abandono de esta cobertura transformadas en cultivos herbáceos de secano con un 64.5% y arbustos y matorral con un 31.8%.

*Improductivo:*

Obtuvo un efecto de balance neto negativo del 65.7% durante el periodo y un porcentaje de cambio por año negativo de 3.7 (Tabla 1). Los espacios ocupados por esta cobertura fueron por pastizales permanentes (5.0%), cultivos herbáceos de secano (3.7%), arbolado con cabida CV > 0.7 (2.3%), arbustos y matorral (2.2%), erial a pastos CV < 0.2 (1.6%) y arbolado con cabida CV 0.2 – 0.7 (1.2%).

Tabla 1. Uso de suelo y vegetación para los años 1984 y 2013, en superficie y balance neto y porcentaje de cambio por año.

Uso y cobertura vegetal	Superficie 1984		Superficie 2013		Balance neto		Porcentaje de cambio por
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	
Improductivo	1887	8.2	647	2.8	-1240	-65.7	-3.7
Cultivos de regadío	108	0.5	8	0.0	-100	-92.8	-9.1
Cultivos arbóreos y viñedos de secano	441	1.9	9	0.0	-431	-97.9	-13.3
Cultivos herbáceos de secano	3064	13.3	3731	16.2	666	21.7	0.7
Arbustos y matorral	7128	31.0	8029	34.9	901	12.6	0.4
Pastizales permanentes	935	4.1	5358	23.3	4423	473.1	6.0
Erial a pastos CV < 0.2	3944	17.1	461	2.0	-3483	-88.3	-7.4
Arbolado con cabida CV 0.2 - 0.7	1495	6.5	3770	16.4	2276	152.2	3.2
Arbolado con cabida CV > 0.7	4026	17.5	1014	4.4	-3012	-74.8	-4.8
Total	23027	100.0	23027	100.0			

Tabla 2. Matriz de transición. La suma de las columnas y filas corresponde al área total (en hectáreas) de cada cobertura en el año 1984 y 2013, respectivamente. La lectura de los valores en el sentido de las columnas indica el cambio de cobertura de suelo y los valores de la diagonal corresponden a la superficie que no presenta cambios en ese periodo.

		Vegetación y uso 1984									Total 2013
		Improductivo	Cultivos de regadio	Cultivos arboreos y viñedos de secano	Cultivos herbaceos de secano	Arbustos y matorral	Pastizales permanentes	Erial a pastos CV < 0.2	Arbolado con cabida CV 0.2 - 0.7	Arbolado con cabida CV > 0.7	
Vegetación y uso 2013	Improductivo	162	0	0	112	154	47	63	18	91	647
	Cultivos de regadio	1	0	0	3	0	0	4	0	0	8
	Cultivos arboreos y viñedos de secano	1	0	5	4	0	0	0	0	0	9
	Cultivos herbaceos de secano	163	69	162	1667	659	209	698	57	46	3731
	Arbustos y matorral	511	34	173	122	3721	251	1987	355	874	8029
	Pastizales permanentes	690	0	75	682	1799	362	727	170	853	5358
	Erial a pastos CV < 0.2	90	4	12	120	52	13	65	5	101	461
	Arbolado con cabida CV 0.2 - 0.7	251	0	5	318	651	44	369	636	1497	3770
	Arbolado con cabida CV > 0.7	18	0	9	36	92	9	30	255	564	1014
	Total 1984	1887	108	441	3064	7128	935	3944	1495	4026	23027

#### 4. Discusión

La libre disposición y el fácil acceso a imágenes satelitales, cuyas primeras escenas datan de comienzos de la década de los setentas, están generando una creciente motivación por investigaciones relacionadas con el cambio de uso del suelo. Estos estudios se han orientado a detectar y cuantificar las transformaciones del paisaje, describir su dinámica temporal y patrón espacial, e indagar en los efectos ecológicos a escala local. Esto da cuenta del gran potencial que tiene la utilización de imágenes satelitales multitemporales para el monitoreo de variables ambientales y ecológicas. En nuestro caso de estudio, las técnicas de análisis espacial y la disponibilidad de fuentes de información previa para calibrar y validar los resultados fueron apropiadas y suficientes para describir la dinámica del paisaje de un área representativa del tramo medio del río Jarama, provincia de Guadalajara España. Es así como fue posible reconstituir la composición del paisaje para los años 1984 y 2013, cuantificar los cambios ocurridos durante el transcurso de 29 años e identificar la transición espacial de los mismos. Los resultados confirman que los principales transformaciones del paisaje son consecuencia del incremento de los pastizales permanentes y arbolado con cabida CV 0.2 – 0.7, pero también del decremento de cultivos arboreos y viñedos de secano, arbolado con cabida CV > 0.7, erial a pastos CV < 0.2 e improductivo.

## **Bibliografía.**

Aguayo M, T Wiegand, G Azócar, K Wiegand & C VegA (2007) Revealing the driving forces of mid-cities urban growth patterns using spatial modeling: a case study of Los Ángeles, Chile. *Ecology and Society* 12: 13. (en línea) URL: [http:// www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art13/](http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art13/) (accedido Junio 20, 2009).

Brovkin V, S Sitch, W Von Bloh, M Claussen, E Bauer et al. (2004) Role of land cover changes for atmospheric CO<sub>2</sub> increase and climate change during the last 150 years. *Global Change Biology* 10: 1253-1266.

Chase TN, Ra Pielke, TGF Kittel, RR Nemani & SW RunninG (2000) Simulated impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter. *Climate Dynamics* 16: 93-105.

Claussen M, V Brovkin & A Ganopolski (2001) Biogeophysical versus biogeochemical feedbacks of large-scale land cover change. *Geophysical Research Letters* 28: 1011-1014.

Defries RS, L Bounoua & GJ Collatz (2002) Human modification of the landscape and Surface climate in the next fifty years. *Global Change Biology* 8: 438-458.

Echeverría C, D Coomes, J Salas, JM Reybenayas, A Lara et al. (2006) Rapid deforestation and fragmentation of Chilean temperate forests. *Biological Conservation* 130: 481-494.

FAO (1996) Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study change process. Rome N° 26. 152 pp.

Foley JA, R Defries, GP Asner, GC Barford, G Bonan et al. (2005) Global consequences of land use. *Science* 309: 570-574.

Houghton Ra, JL Hackler & KT Lawrence (1999) The US carbon budget: Contributions from land-use change. *Science* 285: 574-578.

Lambin, E. F., N. Baulies, G. Bockstael, T. Fisher, R. Krug, E. F. Lemmans, R. R. Moran, Y. Rindfuss, D. Sato, B. L. Skole, Turner II and C. Vogel (1999), Land use and land cover change implementation strategy, IGBP report, 48, IHDP, report 10, Estocolmo.

Lambin EF, BL Turner, HJ Geist, SB Agbola, A Angelsen et al. (2001) The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions* 11: 261-269.

López E, G Bocco, M Mendoza & E Duhau (2001) Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe - A case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning* 55: 271-285.

Matson PA, WJ Parton, AG Power & MJ Swift (1997) Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* 277: 504-509.

Orozco, H. E., V. Pena, R. Franco y N. Pineda (2004), “Atlas Agrario Ejidal del Estado de Mexico”, *Cuadernos de Investigación*, num, 34, UAEM, Toluca, Mexico.

Pimm SL & P Raven (2000) Biodiversity – Extinction by numbers. *Nature* 403: 843-845.

Sala OE, FS Chapin, JJ Armesto, E Berlow, J Bloomfield et al. (2000) Biodiversity – Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287: 1770-1774.

Vitousek PM, HA Mooney, J Lubchenco & JM Melillo (1997) Human domination of Earth’s ecosystems. *Science* 277: 494-499.





CHAPTER/  
CAPÍTULO  
10

NATURAL HAZARDS & CLIMATE CHANGE  
RIESGOS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Santamarta Juan C., Hernández-Gutiérrez L.E. & Arraiza Bermúdez-  
Cañete M<sup>a</sup>. Paz (Ed.)



Colegio de Ingenieros  
de Montes (Ed.)

ISBN 978-84-617-1060-7

## Estudio del daño estructural y del posterior refuerzo de un edificio afectado por asientos inducidos por la subsidencia causada por un descenso del nivel piezométrico

Esteban Díaz <sup>a\*</sup>, Pedro Robles <sup>a b</sup>, Roberto Tomás<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Departamento de Ingeniería Civil. Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante, P.O. Box 99, E-03080 Alicante, España*

<sup>b</sup> *Esfera Consultores de construcción, S.L.*

---

### Abstract

La subsidencia del terreno es un riesgo natural consistente en el hundimiento de la superficie terrestre que genera importantes pérdidas económicas y gran alarma social. La subsidencia del terreno puede deberse a numerosas causas, entre ellas la extracción de agua de un acuífero, que se manifiestan en la superficie del terreno mediante deformaciones verticales que pueden variar desde pocos milímetros hasta varios metros a lo largo de periodos de tiempo que varían desde minutos hasta años. El presente trabajo muestra el caso real de un edificio de sótano, bajo y cinco plantas situado en el casco urbano de Murcia (España), seriamente afectado por asientos diferenciales inducidos por la subsidencia del terreno por descenso del nivel piezométrico. El edificio, construido entre 1983 y 1986, está cimentado por medio de una losa de hormigón armado que apoya sobre un estrato de arcillas limosas de consistencia blanda. Los primeros daños se manifiestan en 1995, coincidiendo con la sequía que aquejó a la vega de Murcia entre 1991 y 1995 y que produjo descensos generalizados del nivel freático del orden de 8 m de media y que en el presente caso alcanzan los 10 m, lo que se traduce en importantes asientos de consolidación que han afectado sensiblemente a la estructura. Con objeto de estabilizar la estructura se realizó un recalce de la cimentación mediante micropilotes. Un posterior seguimiento de la estructura mediante un plan de auscultación, ha puesto de manifiesto la validez del refuerzo proyectado.

© 2014 The Authors. Published by Colegio de Ingenieros de Montes <http://www.ingenierosdemontes.org>

*Peer reviewed*

Keywords: Extracción de aguas subterráneas; Riesgo natural; Sequía; Asientos de consolidación.

---

\* E. Díaz. Tel.: +34 965903400

*E-mail address:* [esteban.diaz@ua.es](mailto:esteban.diaz@ua.es)

## 1. Introducción

El término genérico de subsidencia hace referencia al hundimiento paulatino de la corteza terrestre, continental o submarina. La subsidencia del terreno, es un fenómeno que implica el asentamiento de la superficie terrestre en un área extensa causado por varios factores, que pueden ser naturales o producidos por el impacto de una gran variedad de actividades humanas (Corapcioglu, 1984). La subsidencia puede también clasificarse en función de los mecanismos que la desencadenan (Scott, 1979), siendo la subsidencia causada por la extracción de fluidos del terreno una de las que mayor importancia tienen y afecta a importantes ciudades como Venecia, México D.F., Valle de San Joaquín (EE.UU.), Tokio (Japón), Taipei (Taiwán), Pekín (China). En España destaca el caso de Murcia (SE de España) que es en el que se centra el presente trabajo.

Aunque la subsidencia es un fenómeno geológico que no suele ocasionar víctimas mortales, los daños materiales que causa pueden llegar a ser cuantiosos. Es de gran importancia en zonas urbanas, donde los perjuicios ocasionados pueden llegar a ser ilimitados, suponiendo un riesgo importante para edificaciones, canales, conducciones, vías de comunicación, así como todo tipo de construcciones asentadas sobre el terreno que se deforma.

La extracción de un fluido (agua) de un acuífero, conlleva normalmente un descenso del nivel piezométrico en el terreno, que reduce la presión intersticial del agua en los huecos del suelo. Esta disminución de presión intersticial genera un aumento de la presión efectiva de acuerdo con el principio de Terzaghi (1925). El proceso es una transferencia paulatina de tensiones desde el agua de los poros al esqueleto granular del suelo, de modo que la presión efectiva se incrementa provocando el cierre gradual de los huecos de suelo que se manifiesta a modo de asientos en la superficie del terreno.

La subsidencia en Murcia, fue el primer caso documentado en España de subsidencia debida al descenso del nivel piezométrico del sistema acuífero denominado Vega Media y Baja del Segura, debido a un periodo de sequía prolongada que conllevó también una sobrexplotación de dicho acuífero. Desde 1975, el nivel piezométrico de dicho acuífero puede considerarse a grandes rasgos constante (salvo alguna variaciones menores de 2-3 m) hasta 1992. Es entre 1992 y 1995 cuando se produce un descenso de gran entidad del nivel piezométrico, cuyo máximo varía de 7.6 m a 10.8 m (Aragón et al., 2006; Tomás, 2009). Este descenso en la piezometría está causado en primera instancia por la sequía, que provoca una disminución de la recarga del acuífero, por el descenso de la pluviometría y los excedentes de riego; y un incremento del bombeo para riegos de cultivos y uso urbano. Una vez finalizado el periodo de sequía, el agua procedente de las precipitaciones, los riegos, el trasvase y la disminución de las extracciones de pozos conllevó una recuperación media de 4 m (Aragón et al., 2006).

Los datos de asientos por subsidencia en Murcia durante la crisis piezométrica de los años 90 aportan valores superiores a 10 cm (Tomás *et al.*, 2005; Tomás, 2009), e incluso entre 15 y 30 cm (Jaramillo y Ballesteros, 1997). Estos asientos ocurridos principalmente entre los años 1992 y 1995 en la ciudad de Murcia afectaron a más de 150 edificios y otras estructuras con un coste asociado de unos 50 millones de euros (Vázquez y Justo, 2002; Mulas *et al.*, 2003; Rodríguez

Ortiz y Mulas, 2002), encontrándose entre los edificios dañados el que es objeto de este trabajo.

Las implicaciones de este fenómeno en las edificaciones han sido ampliamente investigadas por Vázquez y Justo (2002) y por el IGME (2000) entre otros autores. Según estos, en general, las lesiones dependen principalmente de la tipología de cimentación de la estructura.

El presente trabajo tiene por objeto exponer la investigación realizada para determinar las causas de las patologías observadas en un edificio sito en el casco urbano de Murcia, así como describir el protocolo de actuación llevado a cabo para consolidar la estructura, con objeto de poder servir de referencia en el tratamiento de casos similares.

## 2. Descripción de la estructura

El caso estudiado en el presente documento, se enmarca en el contexto subsidente anteriormente comentado. Se trata de un edificio ubicado en Murcia frente a los jardines del Malecón, en la calle Pintor Sobejano.

Según datos catastrales la superficie total construida del edificio es de 8308 m<sup>2</sup>, que en planta supone 1861 m<sup>2</sup> (Figura 1), aproximadamente una cuarta parte de la extensión total de la manzana. La edificación posee planta sótano, planta baja y 5 alturas adicionales y está cimentada mediante una losa de hormigón armado de 30 cm de canto que posee correas transversales de 0,50 x 0,50 m<sup>2</sup> y nervios longitudinales de 0,50 x 0,80 m<sup>2</sup> (b x h). Si bien el edificio posee otra zona que se eleva únicamente hasta planta baja y está cimentada por medio de zapatas aisladas, esta zona no ha sufrido daños excesivos, por lo que el estudio no se centrará en ella.



Figura 1. Plano de planta del sótano del edificio estudiado, con la posición de los sondeos realizados. La fachada principal es la situada en el extremo Sur.



La estructura, se resuelve con forjados unidireccionales de semiviguetas pretensadas (dobles en el primer forjado y simples en los seis restantes) y bovedillas prefabricadas de hormigón, apoyados en vigas de hormigón armado, colgadas de 30 cm de canto en el primer forjado y planas de 23 cm de canto en los seis restantes, dirigidas paralelas a fachada y sobre pilares del mismo material. Las semiviguetas se sostienen por la armadura de negativos y un escaso macizado parcial de la primera bovedilla (es decir, sin penetración en la entrega ni armadura de enlace). La planta asimétrica de la edificación hace que las luces entre pilares puedan presentar valores heterogéneos, oscilando entre los más de 4 metros hasta los casi 7 del tercer pórtilo.

Las vigas y pilares forman, en la zona cimentada mediante losa, pórticos paralelos a fachada, los tres más externos de los cuales están atados mediante zunchos que recorren las medianeras, la junta de dilatación, los perímetros de los huecos de las cajas de escaleras y ascensores y los que unen estos últimos con el pórtico de fachada.

La fachada principal está revestida en ladrillo caravista y de ella arrancan voladizos de 1 m, empleados indistintamente como balcones o como ampliaciones de las habitaciones interiores.

La distribución de cargas en el edificio es asimétrica, poseyendo el pórtico de la fachada Sur o fachada principal, cargas superiores a las del resto de pórticos, lo que provoca una asimetría en el reparto de cargas del edificio.

### 3. Descripción de las lesiones

En el momento de la visita previa al estudio, la edificación presentaba lesiones debidas, simultáneamente, a un acusado desplome del edificio hacia su fachada principal (Sur) y a la existencia de diversos cuadros de fisuración de distintos elementos (agrietamiento generalizado de la solera y muros en el aparcamiento situado en la planta sótano, fisuración aislada de algunos elementos verticales y horizontales de zonas comunes y privativas, etc.).



Figura 2. Detalles del desplome del edificio y del contacto entre las medianeras, con desajuste de la medianera por interacción entre edificios.

El desplome de su fachada principal es apreciable a simple vista ya que, a la altura de la azotea, registraba un desplazamiento respecto de su base de 11,5 cm y 17,7 cm en las direcciones SW y SE, respectivamente, que además se evidencia por comparación de la verticalidad con las fachadas adyacentes (Figura 2).

En el sótano, los cerramientos y muros perpendiculares a las fachadas poseen fisuras inclinadas 45° crecientes, en altura y apertura, hacia la fachada principal (Figura 3). Su magnitud real no pudo concretarse debido a las sucesivas operaciones de sellado estético llevadas a cabo, pero podía suponerse en torno al medio centímetro. El muro Este presentaba diversas grietas simétricas a las anteriores en su extremo norte, así como verticales (y también crecientes en altura) en la zona de arranque de la rampa de acceso de vehículos.

En el mismo sótano, la solera del aparcamiento presentaba un agrietamiento generalizado en el que destacaban grietas longitudinales prácticamente paralelas a la línea de fachada que discurrían desde un muro al opuesto, coincidiendo con el espacio equidistante entre los distintos pórticos. Desde el sótano también se apreciaban, en la base del primer forjado, amplios tramos con grietas zigzagueantes en la zona de entrega de las semiviguetas a las vigas, así como algunas finas fisuras de recorrido rectilíneo en trazos transversales entre los pórticos.

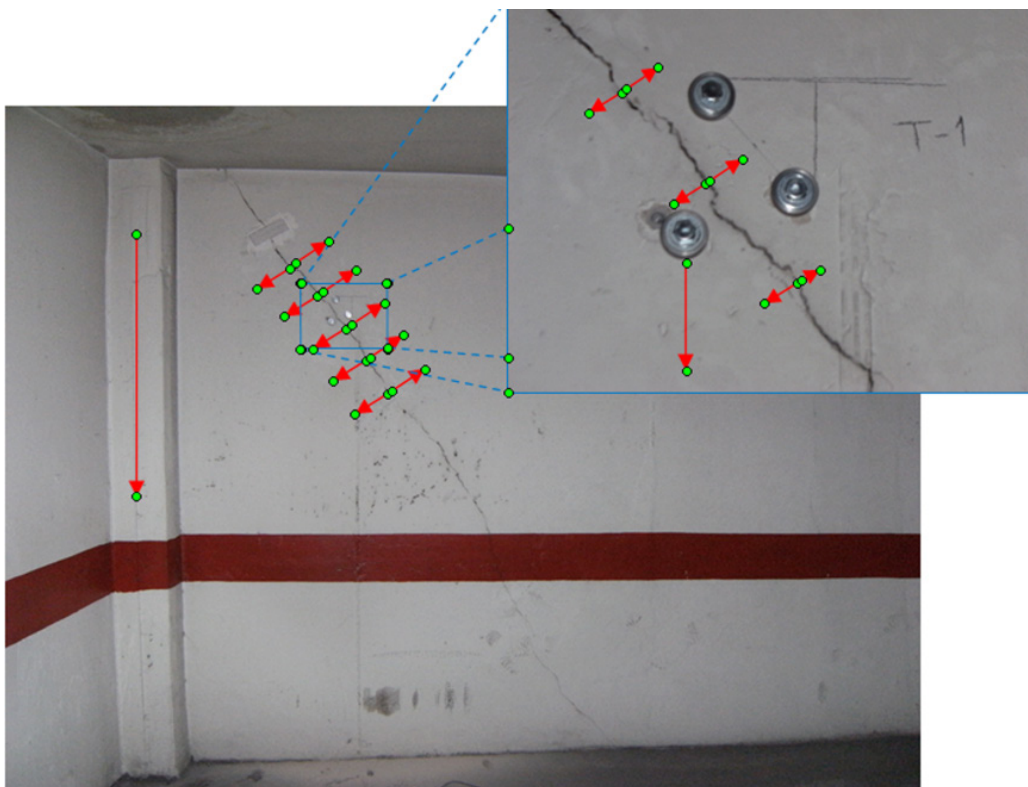


Figura 3. Vista de la grieta del extremo sur del muro oeste y detalle del testigo de control de fisura instalado.

Ya en el exterior, el ladrillo caravista de algunos tramos estaba seccionado por grietas de recorrido vertical que avanzaban desde cota de rasante hasta alcanzar el segundo forjado (Figura 4). A pesar de ello, el estado del resto de la superestructura era, en apariencia, bueno, sin registrarse ningún cuadro de fisuración destacable en sus partes vistas.



Figura 4. Fisuración vertical del paño de revestimiento de ladrillo caravista debido a una compresión excesiva.

Además de las lesiones descritas, existen otras de índole menor y de las que se prescinde su descripción por la escasa información que aportan al presente documento.

Respecto a la cronología de acontecimientos, las obras de construcción del edificio comenzaron en septiembre de 1983 y se prolongaron hasta abril de 1986. Los primeros daños visibles aparecen en 1995, coincidiendo con la sequía que se produjo en la vega de Murcia entre 1991 y 1995. A raíz de la aparición de estos daños, se han realizado varios informes sobre las lesiones en los años 1996, 1999 y 2007, que concluyen con orígenes diversos de las patologías detectadas, ninguno de ellos relacionado con asentamientos excesivos de la cimentación.

#### 4. Investigación realizada

La investigación llevada a cabo se inició en junio de 2008 y continúa en la actualidad con el seguimiento de la estructura. Los trabajos llevados a cabo se dividen en dos grupos, los trabajos *in situ* y los trabajos de gabinete. Dentro de los trabajos *in situ*, se han realizado: a) ensayos geotécnicos; b) ejecución de rozas y calicatas, con objeto de evaluar las dimensiones, procedimientos constructivos, lesiones y/o deficiencias de una selección de elementos ocultos

de la estructura; c) determinación de deformaciones en la losa de cimentación, desplomes de pilares y fachadas y flechas de los forjados; d) instalación de testigos de control de fisura, para el seguimiento continuado del movimiento entre ambos labios de la fisura, y determinación de su magnitud, dirección, sentido y variación temporal (velocidad y aceleración); y e) extracción y ensayo de probetas-testigo de hormigón.

#### 4.1 Condiciones geotécnicas.

Para determinar las condiciones geotécnicas del emplazamiento, se han realizado dos sondeos mecánicos a rotación con recuperación continua de testigo (Ver Figura 1). En el interior de los sondeos se realizaron ensayos estándar de penetración dinámica (SPT), así como la toma de muestras inalteradas para su posterior ensayo en laboratorio. Una vez finalizados los sondeos, se continuó la investigación en profundidad mediante la realización dos penetraciones dinámicas continuas de tipo superpesado (DPSH). La profundidad alcanzada en la investigación ha sido de 22 m por debajo de la cota de cimentación. Basándonos en los sondeos ejecutados y en los resultados de los ensayos realizados “in situ” y en laboratorio sobre las muestras tomadas, las características geotécnicas de los materiales investigados son las siguientes:

- Nivel I, arcillas limosas: Corresponde a materiales que poseen unas características fundamentalmente cohesivas. Se extiende hasta una profundidad máxima de 5.4 m. En esta Unidad Geotécnica se han realizado ensayos de penetración estándar (SPT), obteniéndose valores de  $N_{30}$  entre 5 y 16 (este último de forma puntual), que indican que la consistencia de estos materiales varía de blanda a media. De los análisis de laboratorio realizados se deduce que son materiales que no presentan plasticidad o es baja, con un límite líquido de 39,4% y un índice de plasticidad de 18,4%. Su contenido en finos (porcentaje en peso de material que pasa por el tamiz 0,080 UNE) varía entre 79,0 y 90,0%. Los anteriores parámetros hacen que este suelo esté incluido en los grupos CL (arcillas inorgánicas de baja plasticidad) y ML (limos arenosos), según el Sistema Unificado de Suelos. Su humedad natural media es del 21,7%. Según los ensayos edométricos poseen un índice de poros inicial de 0,80 y un índice de compresión de 0,24. Este nivel posee un ligero buzamiento hacia el Sur, de forma que en el extremo Norte de la losa su base se encuentra a 3.65 m de profundidad con respecto a la cara inferior de la cimentación y en el extremo Sur de la misma, la distancia aumenta a 5.40 m.
- Nivel II, arcillas limoarenosas: Seguidamente y hasta una profundidad máxima de 15 m, se observan unas arcillas que presentan un apreciable contenido limo arenoso, siendo este más frecuente hacia el muro de ambos sondeos y algo más elevada su presencia relativa en el sondeo 2. Se trata de materiales fundamentalmente finos y de características cohesivas, aunque en profundidad la presencia limo-arenosa, le confiere un cierto carácter granular. Los ensayos de penetración estándar (SPT) proporcionan valores de golpeo variables entre 0 y 5; igualmente se han realizado 3 ensayos a compresión simple

obteniéndose resultados de rotura de: 38, 90 y 140 kN/m<sup>2</sup>, que dadas las características de los materiales, consideramos más próximos a la consistencia real del nivel que la deducida en base a los SPT. De esta manera la consistencia de esta unidad varía entre blanda y firme. Análogamente a lo indicado para la unidad geotécnica anterior, son materiales no plásticos o de baja plasticidad, con un límite líquido de 37,6 y un límite plástico de 18,4. Su contenido en finos es del 98%, en los tramos más arcillosos, a techo de nivel y del 85% a muro del mismo, lo que hace que se clasifiquen como CL (arcillas inorgánicas de baja plasticidad), ML (limos arenosos) o SM (arenas limosas). Los ensayos edométricos proporcionan un índice de poros inicial de 0,73 y un índice de compresión de 0.18. Su humedad natural varía entre el 21,7 y el 28,1%. Otros parámetros obtenidos o estimados a partir de los ensayos realizados son el ángulo de rozamiento interno y la cohesión efectivos medios que adoptan valores de 25° y 15 kN/m<sup>2</sup>, respectivamente, y la densidad seca media que adopta un valor de 16,5 kN/m<sup>3</sup>.

- Nivel III, gravas en matriz arenosa: Por último y hasta la finalización de los sondeos, observamos unas gravas muy redondeadas entre una matriz de arena fina. Las gravas tienen tonalidades claras y son de origen carbonatado y metamórfico (filitas y cuarcitas). Se recogen en esta unidad los materiales recuperadas en las últimas maniobras de los sondeos. Son materiales de propiedades claramente granulares no plásticos, con contenidos en finos del 2,3% y con una compacidad muy densa. Se clasifican como GW (gravas bien graduadas con pocos finos) según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Su contenido en humedad natural es del 6,3%. Su ángulo de rozamiento interno es de 41° no presentando cohesión. De la observación de los datos aportados por las penetraciones dinámicas en este nivel, se puede decir que muestran una clara tendencia a aumentar los valores de  $N_{20}$  en profundidad, presentando valores elevados, por encima de 35, con algún resultado puntual de 4 ó 6 que probablemente indica la presencia de lentejones arenosos entre las gravas, e incluso rechazo a partir de los 21 metros de profundidad.
- Durante la ejecución de los sondeos (3 de julio de 2008) se localizó el nivel freático a una profundidad de 10,5 m. De las informaciones de pozos municipales cercanos, se tiene un conocimiento exhaustivo de las variaciones recientes del nivel piezométrico de la zona. En concreto, los pozos indican, de media, que la posición del nivel freático en la zona en 1983, estaba en torno a 3 m por debajo de la cota de la calle y en 1995 se localizaba a 13 m de profundidad con respecto a la misma referencia.

## 4.2 Determinación in situ de deformaciones

Con la intención de fijar la magnitud de los movimientos sufridos por el edificio, evidentes en el contacto exterior con el colindante que acompaña al desplome y por el cuadro generalizado de fisuración que presenta la solera del aparcamiento debido a asientos de la cimentación, se procedió a su cuantificación. El conocimiento de estos datos servirá para determinar el tipo de movimiento (giro y asiento, diferenciales o en bloque) que ha sufrido la estructura.

### 4.2.1 Desniveles en solera de sótano

La cuantificación de los desniveles se llevó a cabo en la planta sótano, mediante el levantamiento taquimétrico de las bases de los pilares y de los muros perimetrales, en su caso. Para conocer la altimetría se empleó un teodolito con mira telescópica y una precisión de  $\pm 1$  mm. El cruce de los datos obtenidos con la planimetría proporcionada por los planos del proyecto permitió determinar la topografía de la solera y deducir los descensos locales de los puntos analizados. En la Figura 5 puede observarse, una representación de todos los puntos estudiados con un código de colores que indica su magnitud.

### 4.2.2 Cálculo de desplomes

En cuanto a la medida de los desplomes, se analizaron en diversos elementos de la estructura con el fin de matizar el tipo de giro y su posible repercusión estructural. A este respecto, se realizó un control del desplome general de las fachadas y otro parcial de varias hiladas del primer tramo de pilares (en la planta sótano), todos ellos en la dirección Norte-Sur. Para el ensayo se utilizó plomada y cinta métrica con precisión milimétrica. Con las lecturas así obtenidas se calculó la razón porcentual desplome/altura, se tabularon los resultados y se representaron sobre el plano de planta (Figura 6).

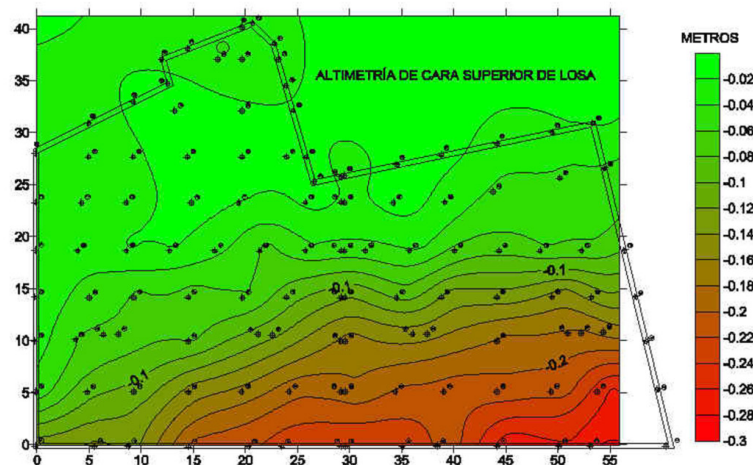


Figura 5. Mapa de desniveles medidos en la cara superior de la losa de cimentación.

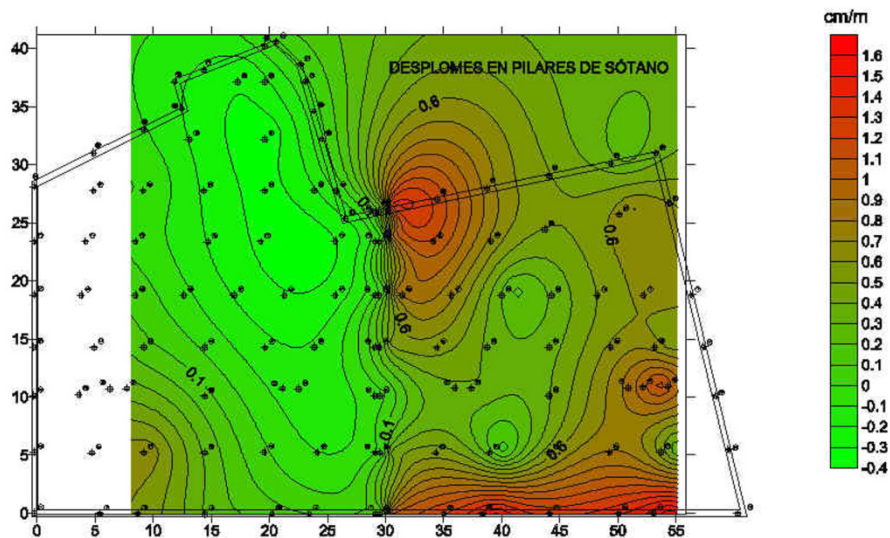


Figura 6. Mapa de desplomes de los pilares de la planta sótano.

## 5. Análisis realizado y solución de recalce adoptada

Con objeto de determinar las causas de las patologías observadas, se ha realizado un análisis del conjunto estructura-subsuelo empleando el método de los elementos finitos (MEF), considerando las cargas reales de la edificación con la asimetría anteriormente comentada. Para ello se ha modelizado una sección transversal de la estructura perpendicular a la fachada principal, y se han tenido en cuenta dos fases en el cálculo, una inicial, con el nivel piezométrico a cota -3 m (profundidad en el momento de finalizar la construcción) y otra final con el nivel freático a cota -13 m (máxima profundidad alcanzada en los registros). Un esquema del modelo adoptado puede observarse en la Figura 7. Ambas situaciones se han resuelto para un proceso de consolidación, teniendo en cuenta los parámetros geotécnicos derivados de los ensayos edométricos realizados.

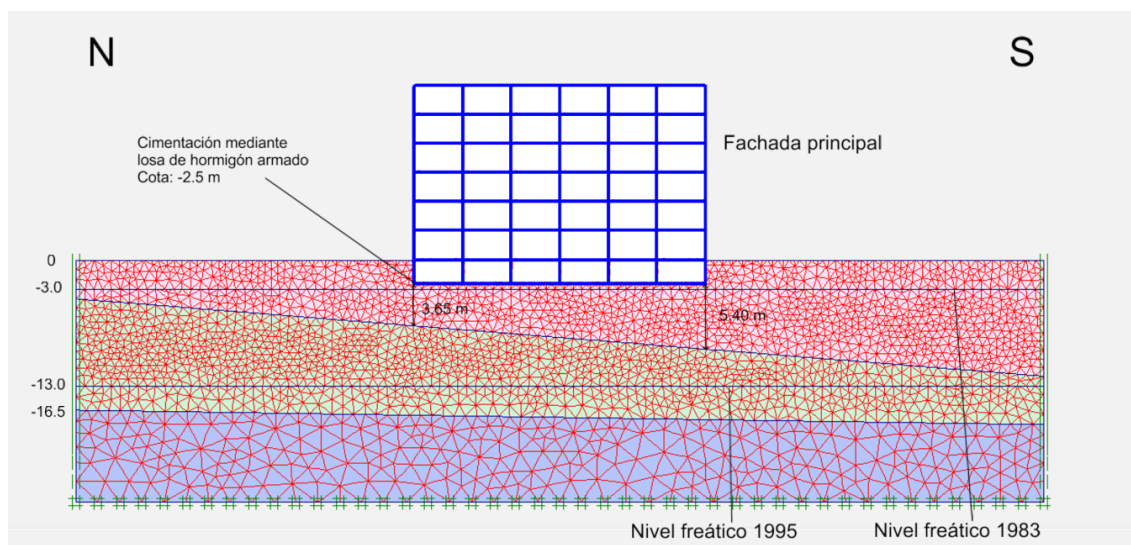


Figura 7. Esquema del modelo de elementos finitos adoptado. Las propiedades de los diferentes niveles se describen en detalle en la sección 4.

En la Figura 8 puede observarse el perfil longitudinal de asientos de la cimentación para la situación final considerada. Como puede contemplarse los valores obtenidos por el MEF y los determinados *in situ*, poseen un grado de acuerdo considerable, confirmando el giro relativo del edificio en sentido y magnitud similar a lo observado en la realidad. Las diferencias existentes se deben al comportamiento elástico adoptado para simular la cimentación en el modelo de elementos finitos y al resto de incertidumbres del cálculo. Puede concluirse que el descenso del nivel piezométrico ha sido el causante principal de los daños observados. La modelización de la fase previa (con el nivel freático a la cota de 1983) no explica la magnitud de los asientos observados, aunque sí revela el comienzo del giro del edificio que probablemente concentró las tensiones en la zona de terreno infrayacente a la fachada principal, lo que incrementó aún más el asiento de la zona a medida que disminuía el nivel freático hasta situarse en su valor mínimo (segunda fase modelizada, 1995).

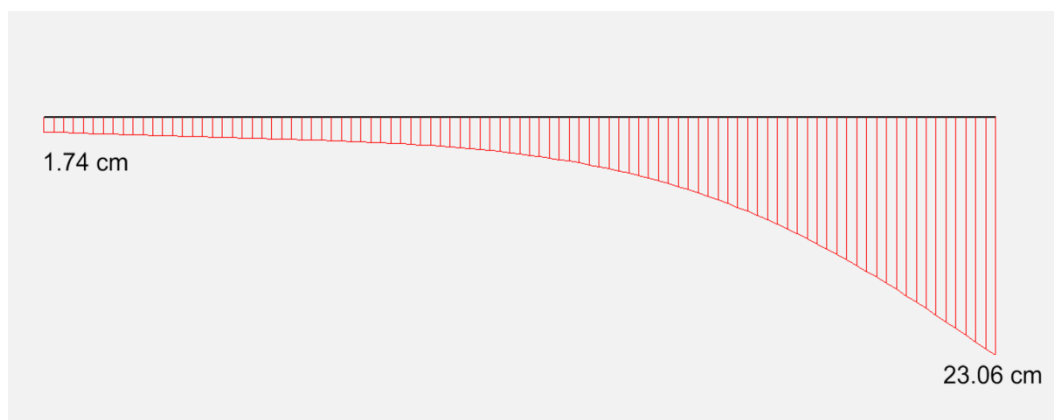


Figura 8. Perfil longitudinal N-S de asientos a lo largo del elemento de cimentación considerado.



En definitiva, la asimetría de las cargas que actúan sobre la losa y la diferencia de espesor de la capa de terreno de mayor compresibilidad (arcillas limosas) ha provocado el giro en bloque del módulo de viviendas en la dirección de la fachada principal (fachada S), con desplomes similares de las fachadas N y S ( $\approx 1,0\%$ ) y pérdida de horizontalidad de los solados. Al tratarse de una estructura cimentada con losa armada se ha reducido la repercusión estructural del asiento diferencial sobre la edificación. El eje del giro es casi paralelo a las fachadas, levemente rotado en planta en sentido levógiro, lo que ha conducido al apoyo del edificio en el colindante. Este apoyo ha supuesto la aparición de esfuerzos horizontales, absorbidos fundamentalmente por las viviendas de ese extremo con resultados de roturas de paños y alicatados por la compresión a que se han visto sometidos.

Todo este proceso se ha visto acompañado por la insuficiente rigidez de la cimentación diseñada, para un proceso de giro de esta magnitud.

Una vez determinado el sentido del movimiento y su magnitud y que se tienen claras las causas que lo han provocado, se procedió al diseño del sistema de refuerzo de la estructura. El sistema de refuerzo conlleva actuaciones en la estructura sobre las que no se entrará en detalle (refuerzos en el encuentro jácenas-semiviguetas con un perfil angular, refuerzos de forjados, etc.) y actuaciones en la cimentación, enfocadas al cese de los movimientos.

Dadas las características del terreno en sus primeros metros y el tipo de cimentación existente, se descartó cualquier tipo de recalce superficial de la cimentación y se recomendó recurrir a un recalce profundo mediante micropilotes, que atravesaran los niveles superficiales y transmitieran las cargas de la cimentación superficial al nivel inferior de gravas (Nivel III). Estos micropilotes se diseñaron teniendo en cuenta el rozamiento negativo que podrían sufrir en un futuro debido a posibles oscilaciones del nivel freático (Justo *et al.*, 2002). Las obras de recalce finalizaron en el mes de junio de 2010.

## 6. Seguimiento del edificio

Una vez realizado el recalce de la cimentación, se diseñó un plan de auscultación de la estructura, con objeto de verificar la idoneidad del recalce ejecutado, el plan contemplaba las siguientes acciones:

- Control del asiento relativo de una selección de pilares del edificio y otros situados fuera de la zona intervenida (todos en planta sótano).
- Seguimiento del control de los testigos equiláteros de control de fisura en distintos puntos del edificio, caracterizando los posibles movimientos del mismo (Figura 3).
- Seguimiento de la cota del nivel freático bajo el edificio.

Del análisis de los datos del plan de auscultación que se poseen hasta la fecha, se puede indicar que respecto a la altimetría comparada en solera de sótano, los incrementos diferenciales de cota detectados entre las bases de los pilares son nulos o de escasa importancia (próximos al error de medida). En este segundo caso, los desplazamientos medidos no presentan un patrón definido en su tendencia, proporcionando un valor medio de 2 mm (Figura 9). El orden de magnitud de este valor es perfectamente congruente con el error absoluto asociado a la precisión del propio sistema instrumental de medida. En consecuencia, no se aprecian movimientos que indiquen ningún tipo de inestabilidad global del edificio.

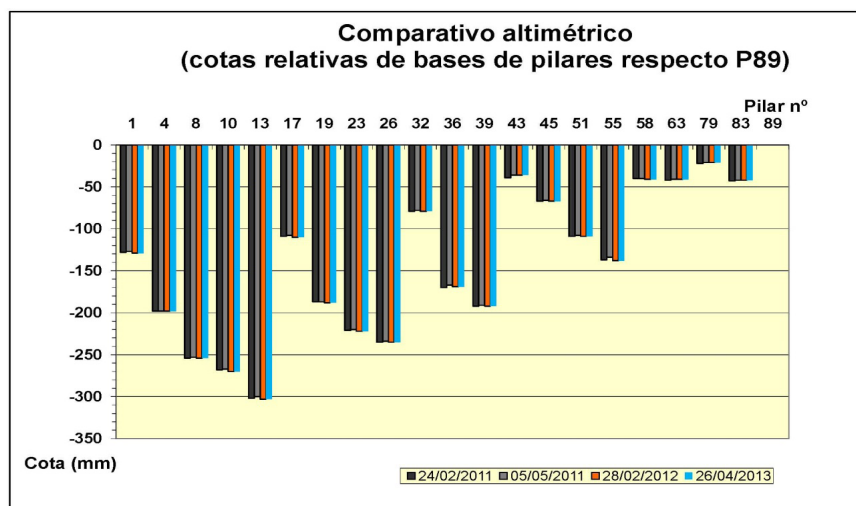


Figura 9. Comparación en el tiempo de las medidas de las cotas relativas de la base de los pilares relativas al pilar 89.

Respecto a los testigos de control de fisura, se desprende que durante el periodo de seguimiento, los testigos registran movimientos oscilatorios, en general horizontales y de amplitud submilimétrica, debidos a variaciones de temperatura, cerrándose las fisuras o juntas monitorizadas en verano y abriéndose en invierno (Figura 10).

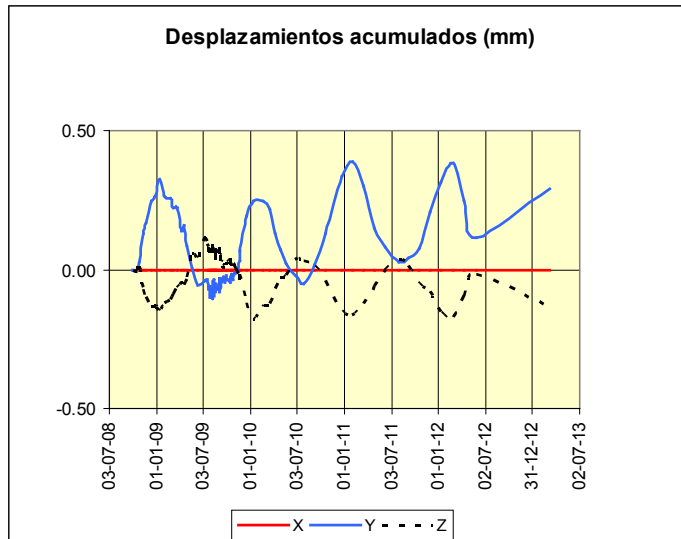


Figura 10. Desplazamientos acumulados (en mm) en un testigo de control (testigo n° 4).

Algunos de los testigos revelan pequeños movimientos de magnitud levemente creciente como resultado de su funcionamiento como junta y debido a fenómenos de histéresis elástica y fatiga de materiales, pero en ningún caso corresponden a movimientos de la cimentación que pudieran derivar en daños estructurales (Figura 11).

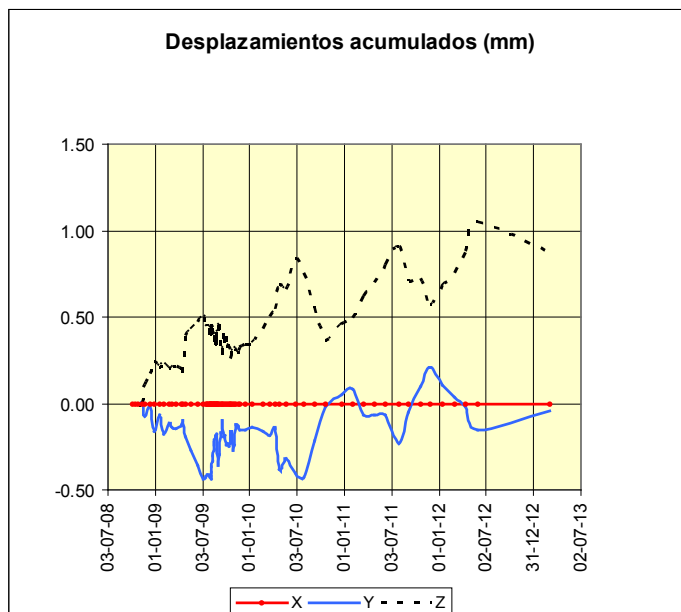


Figura 11. Desplazamientos acumulados (en mm) en un testigo de control (testigo n°6).

Respecto al control del nivel freático, el análisis de las medidas apunta a una estabilización asintótica a la cota -2,00, acorde al régimen hídrico de los últimos años, con precipitaciones por encima de la media que han provocado un ascenso prácticamente continuo de más de 8 metros en los últimos 4,5 años (Figura 12). En los meses de septiembre de 2008 y 2009 se detectaron dos mínimos relativos (Figura 12), coincidentes con sus respectivas épocas de menor aportación anual (estiaje). Este hecho pone de manifiesto que en absoluto se pueden considerar las variaciones del nivel piezométrico como algo accidental, y que deben ser tenidas en cuenta a la hora de proyectar el recalce de la cimentación, tal y como se ha llevado a cabo en el recalce ejecutado.

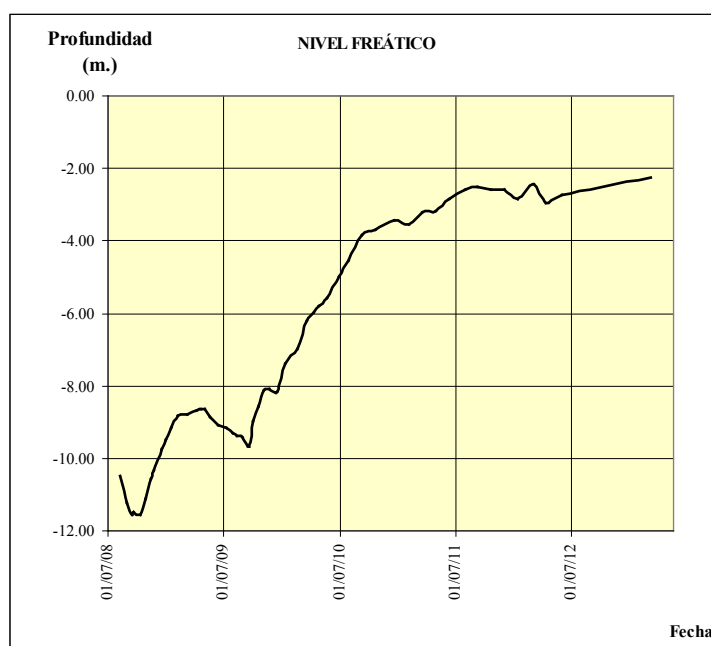


Figura 12. Evolución del nivel freático en el sondeo 1. La localización del sondeo 1 se muestra en la figura 1.

## 7. Conclusiones

La subsidencia del terreno por descenso del nivel piezométrico es un riesgo natural relativamente poco conocido hasta la fecha en España, que puede provocar asentamientos de gran envergadura en la superficie terrestre. En los años 90, el casco urbano de Murcia y su entorno sufrió el primer caso importante de subsidencia detectado en España debido a un brusco descenso del nivel piezométrico provocado por un conjunto de factores, entre los que destacan un periodo prolongado periodo de sequía y la sobrexplotación de los acuíferos. Dentro de este contexto de hundimiento paulatino de la superficie del terreno, son más de 150 edificios, los que han sufrido daños asociados a este fenómeno (Vázquez y Justo, 2002; Mulas *et al.*, 2003; Rodríguez Ortiz y Mulas, 2002), entre los que se encuentra el objeto del presente trabajo.

El presente trabajo establece una metodología de estudio para este tipo de edificios con lesiones, que como se demuestra con el estudio de seguimiento llevado a cabo ofrece resultados satisfactorios. Los aspectos más relevantes del estudio llevado a cabo se exponen a continuación.

El casco urbano de Murcia ha estado y está sometido a un proceso de subsidencia gobernado por fuertes variaciones del nivel piezométrico, que han afectado y afectarán a numerosas edificaciones y obras de cualquier tipo en contacto con el terreno.

Las lesiones que aparecen en el edificio objeto de estudio se deben principalmente a dicho proceso de subsidencia y se explican coherentemente con una bajada del nivel freático de 10 m que se produjo en esta zona de Murcia entre los años 1983 y 1995. Este hecho ha sido avalado por la modelización de la consolidación producida mediante el MEF, a través del cual se explica el basculamiento del edificio. Dicho basculamiento se debe por una parte, a la diferencia de espesor del nivel geotécnico de mayor compresibilidad (Nivel I de arcillas limosas) bajo la cimentación, poseyendo su mayor espesor en la zona de la fachada principal, y por otra a que existe una asimetría de cargas en el edificio, siendo la zona de la fachada principal la zona más cargada. Este hecho provoca un ligero giro de la estructura que no hubiera llegado a más de no ser por el descenso del nivel piezométrico, que afecta más a esta zona debido a la concentración de tensiones en el terreno provocada por el ligero giro previo, por la distribución desigual de espesores de la capa de terreno más compresible bajo la cimentación y por la mencionada asimetría en la carga del edificio.

En este contexto subsidente, cualquier heterogeneidad en el edificio (asimetría de cargas, asimetrías geométricas, distintos planos de cimentación, diferentes tipologías de cimentación, etc.) pueden ver magnificados sus efectos y producir daños de consideración en el edificio, lo que se debe tener en cuenta en fase de proyecto. Del mismo modo, cualquier heterogeneidad en el terreno, en este caso una diferencia de espesor de la capa de mayor compresibilidad bajo la cimentación, provoca también un aumento en la magnitud de los daños, aspecto que igualmente debe ser considerado en fase de proyecto.

Las soluciones de recalce de la cimentación a adoptar en este tipo de edificios afectados por subsidencia, deben ser soluciones de recalce profundo, ya que el proceso de variación del nivel freático es activo, pudiendo ocasionar nuevos fenómenos de consolidación de las capas más superficiales del terreno. Asimismo, es recomendable considerar en su diseño, las acciones adicionales por rozamiento negativo que puedan afectar a los micropilotes como consecuencia de futuros descensos piezométricos.

El plan de auscultación diseñado para verificar la idoneidad de la solución de recalce proyectada, ha puesto de manifiesto la ausencia actual asientos en la cimentación.

### **Agradecimientos**

Los autores quieren agradecer a la comunidad de vecinos del edificio estudiado su colaboración. Algunos de los datos mostrados en el presente trabajo han sido obtenidos en el marco del proyecto financiado por el Gobierno de España TEC2011-28201-C02 y la Agencia

de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia (15224/PI/10).

## References

Aragón, R., Lambán, J., García-Aróstegui, J.L., Hornero, J., Fernández-Grillo, A.I. (2006). Efectos de la explotación intensiva de aguas subterráneas en la ciudad de Murcia (España) en épocas de sequía: orientaciones para una explotación sostenible. *Boletín Geológico Y Minero* 117, 389-400.

Corapcioglu, M.Y. (1984). Land subsidence a state of the art review. *Fundamentals of Transport Phenomena in Porous Media*. En: Bear and M. Y. Corapcioglu (Ed.), NATO ASI Series E.82, MartinusNijhoff Publishers, 369-444.

De Justo, J.L., Vázquez, N.J. (2002). *La Subsistencia en Murcia: Implicaciones y Consecuencias en la Edificación*. Murcia. ISBN 84-87138-36-5.

IGME. (2000). *Estudio Geotécnico del subsuelo del área Metropolitana de Murcia*. Instituto Geológico y Minero de España, 200 pp.

Jaramillo, A., y Ballesteros, J.L. (1997). *El descenso del nivel freático en Murcia: Influencia sobre los edificios*. ASEMAS.

Justo, J.L., (1996). Problemas de subsidencia en diversas ciudades. Efectos del rebajamiento del nivel freático sobre las cimentaciones profundas. Soluciones. *Jornadas Técnicas sobre la Influencia del Descenso del Nivel Freático sobre los Edificios del Casco Urbano de Murcia*. Colegio Oficial de Arquitectos de Murcia.

Justo, J.L., Vázquez, N.J y Justo, E. (2002). Rozamiento negativo en pilotes producido por la subsidencia en Murcia. *Ingeniería Civil*, 125.

Mulas, J., Aragón, R., Martínez, M., Lambán, J., García-Arostegui, J.L., Fernández-Grillo, A.I., et al. (2003). Geotechnical and hydrological analysis of land subsidence in Murcia (Spain). *Proc. 1ª International Conference on Groundwater in Geological Engineering, RMZ-M and G, Materials and Geoenvironment, Bled, Slovenia, vol. 50 (pp. 249–252)*.

Rodríguez Ortiz, J.M. y Mulas, J. (2002). Subsistencia generalizada en la ciudad de Murcia (España). In Ayala Carcedo, J. and Olcina Cantos Coords., *Riesgos Naturales* (pp. 459–463). Barcelona: Editorial Ariel.

Scott, R.F. (1979). Subsidence – A review. En: Saxena, S.K. (ed.). *Evaluation and prediction of subsidence*. Proc. of the Int. Conf., Pensacola Beach, Florida, January 1978, Am. Soc. Civil Eng., New York, 1-25.

Terzaghi K. (1925). Principles of soil mechanics, IV—Settlement and consolidation of clay. *Engineering News-Record*, 95 (3): 874–878.

Tomás, R. (2009). *Estudio de la ciudad de Murcia mediante Interferometría SAR diferencial avanzada*. Tesis doctoral. Universidad de Alicante. 480 pp.

Tomás, R., Márquez, Y., Lopez-Sanchez, J.M., Delgado, J., Blanco, P., Mallorquí, J.J., Martínez, M., Herrera, G., Mulas, J. (2005). Mapping ground subsidence induced by aquifer overexploitation using advanced Differential SAR Interferometry: Vega Media of the Segura River (SE Spain) case study. *Remote Sensing of Environment* 98, 269-283.



CHAPTER/  
CAPÍTULO  
11

NATURAL HAZARDS & CLIMATE CHANGE  
RIESGOS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Santamarta Juan C., Hernández-Gutiérrez L.E. & Arraiza Bermúdez-  
Cañete M<sup>a</sup>. Paz (Ed.)



Colegio de Ingenieros  
de Montes (Ed.)

ISBN 978-84-617-1060-7

## Determinación de deformaciones milimétricas del terreno mediante geodesia astronómica

Itahisa González Álvarez<sup>a\*</sup>, Antonio Eff-Darwich Peña<sup>b</sup>, M. Jesús Arévalo Morales<sup>a</sup>,

<sup>a</sup>Sección de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de La Laguna

<sup>b</sup>Sección de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de La Laguna

---

### Abstract

La posición de las estrellas en el cielo ha sido una constante empleada por el ser humano desde hace milenios para realizar todo tipo de mediciones, desde el paso del tiempo a la posición o la ruta a seguir para llegar a cierto destino. Las Islas Canarias destacan a nivel mundial no sólo por la calidad de su cielo nocturno sino también por su geología. Su origen volcánico y la actividad que aún presenta hacen que sea necesario mantener un cierto grado de vigilancia ante posibles síntomas de reactivación volcánica, como la emisión de gases, los terremotos o la deformación del terreno, que puede variar entre unos pocos milímetros y varios centímetros. Precisamente para este último fin, la medición de posibles deformaciones en el terreno, tanto verticales como horizontales, debidas principalmente a causas volcánicas, se ha diseñado un dispositivo que, con un telescopio y un sensor CCD, es capaz de detectarlas mediante el uso de la posición invariante del polo Norte celeste en el cielo.

© 2014 The Authors. Published by Colegio de Ingenieros de Montes <http://www.ingenierosdemontes.org>

*Peer reviewed*

---

---

\* Corresponding author. Email address [inega2@gmail.com](mailto:inega2@gmail.com)



## 1. Introducción.

Las deformaciones del terreno son desplazamientos del suelo con respecto a su posición habitual. Estos movimientos pueden ser tanto verticales como horizontales y sus causas pueden ser variadas: desde deslizamientos debidos a inestabilidad o asentamiento del terreno, a movimientos a causa de aguas subterráneas, terremotos o actividad volcánica. Analizar estas deformaciones y monitorizarlas, ya sea mediante GPS, interferometría SAR (InSAR) o cualquier otro método, puede ser de vital importancia, ya que pueden ser un indicador temprano de fenómenos como deslizamientos de tierra o reactivación volcánica y, por tanto, suponen una información de gran valor a la hora de prevenir daños debidos a estos sucesos. Además, nos ayudan a mejorar nuestro entendimiento acerca de los procesos dinámicos que se producen en la litosfera y a cuantificar los riesgos geológicos.

En este trabajo se analizarán las deformaciones debidas esencialmente a los procesos volcánicos presentes en el archipiélago canario y especialmente en la isla de Tenerife. En general, la superficie del terreno en torno a un área volcánicamente activa se deforma durante y después de los terremotos producidos por esta actividad, así como a consecuencia de las erupciones y la evolución del volcanismo. Cuantificar la magnitud de estos cambios constituye un medio de detectar precursores o síntomas tempranos de una erupción antes de que el magma comience su camino hacia la superficie.

## 2. Situación geológica.

Tenerife es la mayor de las islas del archipiélago canario, así como una de las islas volcánicas más grandes del mundo. Se encuentra entre las latitudes 28-29° N y longitudes 16-17°W, a casi 300 kilómetros de la costa africana. Es una región volcánica activa cuya edad varía, según la zona, desde el Mioceno Medio hasta el presente, sin evidencia de que hayan transcurrido lapsos importantes de tiempo sin actividad volcánica en los últimos 3 ó 4 Ma (Ancochea et al., 1990, 1999). Esta actividad se hace evidente en las fumarolas permanentes presentes en el cráter del Teide, las emisiones de gases difusos (Valentín et al., 1990; Albert-Beltrán et al., 1990; Hernández et al., 1998; Pérez et al., 1996), las temperaturas de las aguas subterráneas, que alcanzan los 50°C y la contaminación de las aguas subterráneas del subsuelo en el área central de la isla (Bravo et al., 1976; Carracedo and Soler, 1983; Farrujia et al, 1994).

La morfología de Tenerife es el resultado de una compleja evolución geológica: la parte subaérea de la isla fue formada por erupciones fisurales de ankaramita, basanita y basaltos alcalinos que ocurrieron en un periodo de entre 12 y 3.3 Ma (Ancochea et al., 1990; Araña et al., 2000; Guillou et al., 2004). Estas formaciones crearon volcanes en escudo que permanecen en el presente como tres macizos erosionados que ocupan las tres esquinas de la isla (Teno, Anaga y los macizos de Roques del Conde). En la zona central de la isla, formada desde hace 3.5 Ma hasta el presente, la emisión de basaltos y otros materiales volcánicos creó un gran complejo volcánico central, el Edificio de Las Cañadas. Tras una etapa de actividad de tipo máfico, tuvo lugar una sucesión de periodos de actividad fonolítica que culminaron en la formación de una gran depresión elíptica conocida como la Caldera de Las Cañadas. En el sector Norte de esta

caldera, se asienta el complejo Teide-Pico Viejo, un gran estratovolcán producto de la fase más reciente de este volcanismo central (su edad se estima en unos 175 Ky). La actividad basáltica post-escudo, que se superpone al edificio de Las Cañadas se encuentra presente fundamentalmente en dos crestas, la NE y la NO, las cuales convergen en la zona central de la isla (Ancochea et al., 1990; Carracedo, 1994; Ablay and Hurlimann, 2000). Colapsos laterales en gran escala son los responsables de la formación de los tres valles principales: La Orotava, Güimar e Icod. La actividad eruptiva histórica ha consistido en seis erupciones estrombolianas (Cabrera and Hernández-Pacheco, 1987), llamadas Siete Fuentes (1704), Fasnía (1705), Arafo (1705), Arenas Negras (1706), Chahorra (1798) y Chinyero (1909). Las últimas tres erupciones se han producido en el sistema dispuesto a lo largo del eje NO, el área más activa de la isla junto con el complejo Teide-Pico Viejo en los últimos 50000 años (Carracedo et al. 2003a, 2003b).

Es importante mencionar, en el contexto de la monitorización geodésica, la posible existencia de una cámara magmática poco profunda bajo Teide-Pico Viejo. Su existencia se ha estimado a partir de análisis petrológicos (Araña, 1985; Araña et al. 1989), los cuales muestran que la parte superior de esta cámara magmática estaría localizada al nivel del mar, teniendo un volumen de unos 30km<sup>3</sup> y un radio de unos 2 kilómetros (asumiendo una forma esférica). La modelización termodinámica (Diez y Albert, 1989) y química (Albert-Beltrán et al., 1990) de las fumarolas del cráter del Teide revelan que la temperatura presente en la superficie de la cámara magmática sería de en torno a los 350°C y la altura estimada para la cámara coincide con los análisis petrológicos. Sin embargo, Araña et al. (2000) encontraron anomalías magnéticas de longitud de onda larga en la zona central de Tenerife que podrían ser interpretadas como la parte más alta de cuerpos intrusivos profundos o de la zona de la cámara magmática (~5.7 km b.s.l.). En este sentido, la posible localización de la parte superior de la cámara magmática varía entre el nivel del mar y unos 6 kilómetros bajo el mismo. También es importante para los estudios geodésicos el hecho de que las erupciones más recientes (<3Ma) han sido alimentadas por diques (Fernández et al., 2003). Estos diques están asociados a sistemas de fracturas profundas que generalmente responden a tectónicas regionales. En otros casos, los diques están situados en fracturas circulares o radiales poco profundas en grandes estructuras volcánicas. La mayoría de los diques visibles son de menos de un metro de ancho en las secciones menos profundas. Sin embargo, cuando la erosión expone secciones más profundas, éstas son mucho más gruesas, especialmente aquellas de composición salina. Las fracturas regionales en Tenerife pueden verse principalmente en las dos crestas, NE y NO, que convergen en la zona central de la isla. Asimismo, existen fracturas radiales asociadas a los sistemas eruptivos del volcán Teide-Pico Viejo, en el área central de la isla.

### 3. Métodos de detección de deformación del terreno.

La monitorización de las deformaciones del terreno en la isla de Tenerife se centraba, hasta la década de los 90 del siglo pasado, en una microrred geodésica localizada en la Caldera de Las Cañadas. Sin embargo, un análisis teórico llevado a cabo por Yu et al. en 2000, dos movimientos inesperados detectados fuera de la zona de control mediante técnicas InSAR y una serie de

pruebas de sensibilidad realizadas sobre la misma demostraron la conveniencia de extenderla al resto de la isla (Fernández et al., 2003), por lo que se creó una red de 22 estaciones GPS alrededor de toda la isla, con más densidad de ellas en las áreas en las que se había detectado alguna deformación. Esta red confirmó las observaciones hechas mediante InSAR y confirmó la necesidad de extender la vigilancia al total de la isla.

Además de esto, y a pesar de que los observatorios astrofísicos no realizan programas de monitorización geofísica, los datos acerca de la precisión en el apuntado de los grandes telescopios presentes tanto en el Observatorio del Teide, en Tenerife, como en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma, pueden contener información sobre deformaciones del terreno que pueden complementar al resto de las observaciones geodésicas llevadas a cabo en las islas. Esto es así ya que la precisión en el apuntado debe ser del orden de la aberración debida a la atmósfera, esto es, menor de 2 segundos de arco. De esta manera, las inclinaciones de los telescopios, o de los edificios que los contienen, debidas a efectos estructurales, a posibles deformaciones del terreno o a efectos térmicos deben ser cuidadosamente monitorizadas. Un ejemplo de este tipo de vigilancia lo constituyen los cuatro inclinómetros instalados en el telescopio solar Themis, situado en el observatorio del Teide, los cuales fueron considerados un complemento de utilidad en la monitorización de la actividad volcánica de la isla tras analizar la serie de datos obtenida desde 1997 hasta 2006 (Eff-Darwich et al., 2008b).

En la actualidad, la isla de Tenerife consta de dos redes de GPS instrumental permanente enmarcadas en un programa geodésico para la vigilancia volcánica de las islas correspondiente al Instituto Geográfico Nacional (IGN), y otra del Instituto Tecnológico de Energías Renovables (ITER), contando la primera de ellas con cinco estaciones y la segunda con once solamente en esta isla, aunque estas redes se extienden al resto del archipiélago. Gracias a ellas, se pueden medir las deformaciones del terreno, con una precisión de hasta 1 centímetro. Conjuntamente con estas redes se emplea la interferometría de radar de apertura sintética (InSAR) para completar el estudio de las deformaciones del terreno en la isla, obteniendo una resolución de hasta 1 centímetro, mostrándose así como un valioso complemento al permitir la monitorización de zonas que no son controladas regularmente además de aquellas en las que se dispone de la red GPS, la cual se encuentra naturalmente limitada por la separación entre las respectivas estaciones.

#### **4. El Polo Norte Celeste.**

El Polo Norte Celeste (PNC en adelante) es un punto imaginario del cielo en el que se corta el eje de rotación de la Tierra con la esfera celeste. Como resultado, todas las estrellas del hemisferio norte parecen girar en torno a este punto con un período de 24 horas, mientras que el PNC permanece estático a lo largo de todo el año. En realidad, tanto el PNC como el PSC (Polo Sur Celeste) se ven afectados por la precesión de los equinoccios, la cual hace que el eje de la Tierra trace pequeños círculos sobre la esfera celeste, pero el período de este movimiento es de casi 26000 años, por lo que resulta absolutamente inapreciable en las escalas de tiempo que nos

interesan (de entre meses y décadas).

La estrella Polar se encuentra situada casi exactamente en este lugar del cielo. Sin embargo, su ligero desplazamiento con respecto a él hace que también describa una circunferencia a su alrededor aunque debido a que su radio es demasiado pequeño no es posible percibirlo a simple vista.

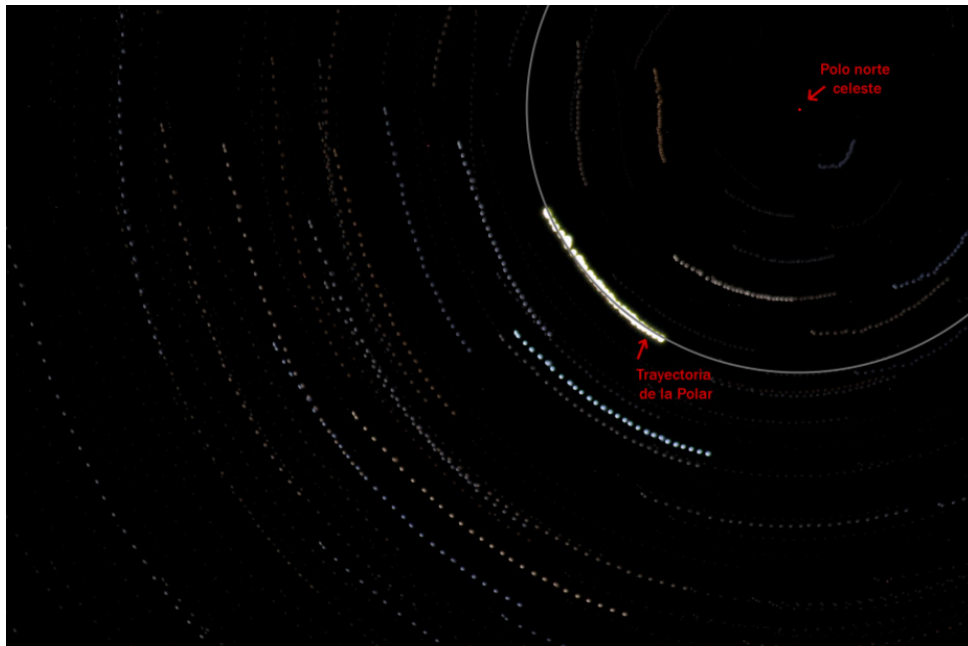


Figura 1. Sucesión de fotografías del área en torno a la estrella Polar tomadas durante varias horas, unidas de modo que muestran el movimiento de las estrellas alrededor del PNC.

Esta separación se aprecia en la imagen de la figura 1, en la que se ha superpuesto una serie de fotografías del mismo campo de 30 segundos de exposición a ISO 640 y f/8 tomadas con un intervalo de 5 minutos durante 3 horas con una cámara réflex Canon EOS 40D sobre trípode, con objetivo Tamron 200-500 F/5-6.3 a 500 milímetros de distancia focal. Como puede observarse, la Polar describe un círculo en torno a un punto en el que aparentemente no hay nada y el cual constituye en realidad el auténtico polo Norte celeste. El cálculo de esta trayectoria servirá también para estimar la precisión del dispositivo, así como para comprobar visualmente si se ha producido alguna deformación en el terreno (la Polar debe aparecer siempre dentro de una trayectoria circular).

## 5. Diseño y método.

La invariabilidad del PNC en el cielo, tal como se ha visto en la sección anterior, permite emplearlo como guía o referencia. Así, se ha diseñado un dispositivo que consta de un pequeño telescopio acoplado a una cámara CCD, estando el conjunto sobre una base inclinada en ángulo de  $28.5^\circ$  (la latitud promedio de la isla de Tenerife), con el eje del telescopio apuntando hacia el norte, de forma que se dirija permanentemente hacia la estrella Polar (y, por tanto, hacia el PNC), tal como muestra la figura 2. Todo este dispositivo se encuentra fijado a un soporte que, a su vez, se coloca sobre una base situada sobre una plataforma, un trípode o directamente el suelo mediante un sistema de muescas que permiten encajar el soporte en la base y que lo mantienen en su posición.

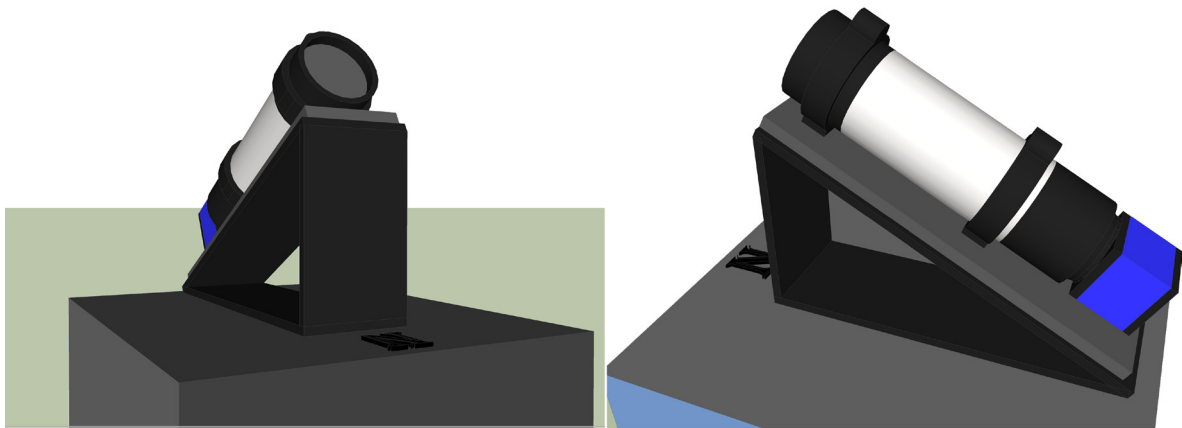


Figura 2. Bocetos del diseño del dispositivo que se empleará para la medición de las deformaciones del terreno.

Uno de los aspectos más importantes acerca de este diseño es la gran limitación en los grados de libertad de los que dispone: el telescopio se encuentra fijado de forma absoluta a la cuña sobre la que se sitúa mediante una serie de tornillos y abrazaderas que no sólo impiden cualquier traslación sobre la misma, sino también cualquier giro en torno a su eje; la cuña se encuentra también atornillada al soporte, de modo que cualquier tipo de movimiento con respecto a éste resulta imposible; por último, el mencionado soporte dispone de una serie de muescas y relieves que permiten fijarlo a una base fija en el terreno.

De este modo, la cámara puede tomar imágenes de una única región del cielo, la que rodea al PNC. El campo que aparece en la imagen obtenida debería ser siempre el mismo siempre y cuando el entorno que rodea el dispositivo permanezca invariante. Así, en caso de detectarse alguna diferencia en este campo en la imagen tomada por la CCD, ésta habrá sido causada por alguna deformación del terreno. La figura 3 muestra una simulación del resultado esperado para distintos valores del desplazamiento.

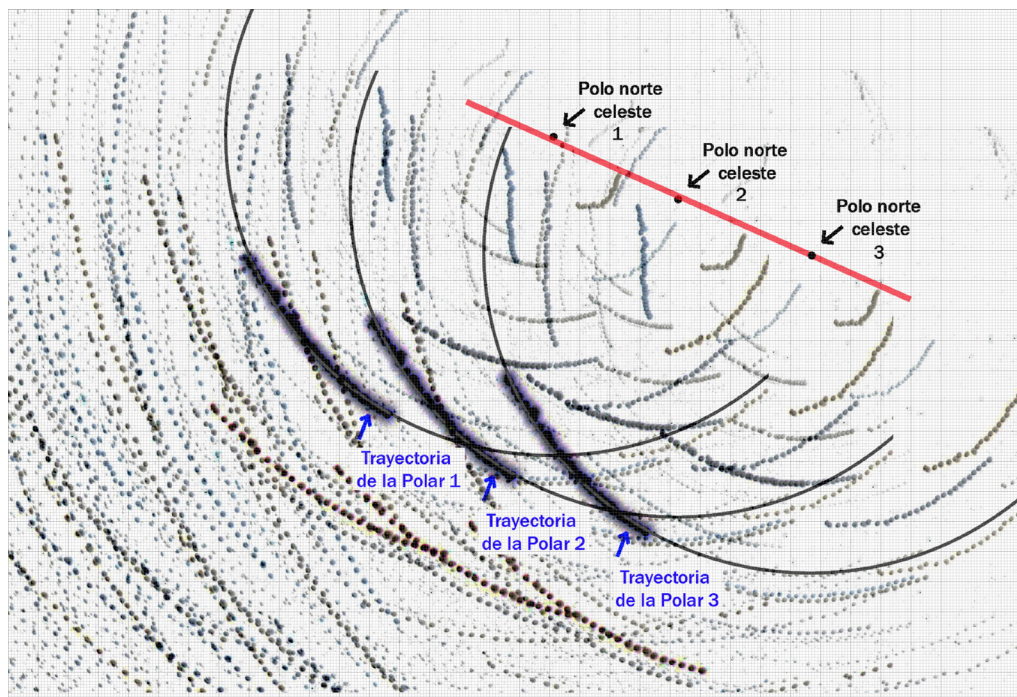


Figura 3. Composición de varias de las series de imágenes descritas en la sección anterior, figura 1, en la que se puede ver el desplazamiento del PNC y un método de cuantificación del mismo.

En la figura 3 aparece el método de cuantificación de las deformaciones del terreno a partir de la variación en la posición del PNC. Cada desplazamiento en el terreno puede ser asociado a un cambio determinado en la posición en la imagen. Es de esperar que las simulaciones teóricas que se llevarán a cabo permitirán establecer la correlación entre la magnitud de la deformación del terreno y el desplazamiento en píxeles en la imagen, con lo que en un futuro será posible cuantificar los valores de la deformación del terreno únicamente a partir de las imágenes tomadas mediante este dispositivo.

## 6. Resultados preliminares.

A pesar de no haber realizado aún medidas directas con el instrumento comentado en la sección anterior, sí que se han llevado a cabo algunas observaciones y medidas preliminares a fin de obtener una estimación de la precisión esperada y comprobar la aproximación teórica anteriormente realizada.

Así, se llevaron a cabo tanto desplazamientos horizontales como verticales al realizar fotografías de la región en torno al PNC. Estas imágenes, sin embargo, no fueron tomadas con una cámara CCD como la que será empleada finalmente en el diseño, sino con una cámara digital réflex Canon EOS 40D sobre trípode, con objetivo Tamron 18-270 F/3.5-6.3 a 18 milímetros

de distancia focal,  $f/6.3$  e ISO 800, situada sobre un trípode regulable milimétricamente. Como primera prueba, se desplazó horizontalmente este conjunto cámara-trípode aproximadamente 1 centímetro durante una exposición de 4 minutos. La figura 4 muestra el resultado obtenido: ella, los dos primeros minutos corresponden a la imagen de la Polar señalada como Polar 1 que aparece alrededor del centro de la imagen. Tras ellos, se produjo el desplazamiento de la cámara hacia la derecha de su posición original, creando la imagen marcada como Polar 2, a la derecha de la anterior en la imagen. Nótese como todas las estrellas aparecen duplicadas, no solo la Polar.



Figura 4. Resultado del desplazamiento horizontal de la cámara durante una foto de 4 minutos de exposición.

Asimismo, se obtuvieron nuevas imágenes desplazando verticalmente la misma cámara mencionada anteriormente, esta vez con el objetivo Tamron 200-500, F/5-6.3 a 500 milímetros de distancia focal, f/8 e ISO 640. En la figura 5 se muestra una composición realizada con los resultados obtenidos en la que las imágenes b y c son en realidad la misma, dispuestas de forma que sea posible apreciar el cambio en la posición de la estrella Polar (y, por tanto, del PNC) en la imagen al elevar 1 centímetro la posición de la cámara con respecto al lugar que ocupaba al tomar la imagen a. Así, al comparar las imágenes a y b, puede observarse la diferencia entre las posiciones tanto en la horizontal como en la vertical de la imagen antes y después del desplazamiento de la cámara. Por otro lado, al contrastar las imágenes a y c, se aprecia la variación horizontal al efectuar el mismo cambio en la altura del sensor.



Figura 5. Composición realizada con las imágenes obtenidas al desplazar verticalmente la cámara.

Esta variación en la posición de la Polar en un campo tan reducido es precisamente la que permite calcular pequeñas deformaciones del terreno. En estas pruebas se han obtenido resultados positivos para desplazamientos del orden de 1 centímetro, lo cual implicaría una resolución de al menos este orden en la detección de las deformaciones del terreno, aunque es de esperar que pueda ser aún menor. La resolución mínima alcanzada mediante el resto de los sistemas de detección empleados actualmente para este fin es de 1 centímetro en el caso



ideal, lo cual supondría que este dispositivo podría alertar del inicio de la actividad volcánica en una etapa más temprana que los sistemas utilizados hasta la fecha. Además, al ser un diseño pequeño, compacto, ligero y portátil, podría crearse una red de puntos de control con la que monitorizar la actividad en las zonas de interés de forma simple y con un solo instrumento. Sin embargo, la principal desventaja del dispositivo es que sólo es capaz de realizar las mediciones de noche desde puntos donde se tenga visión directa del PNC y en condiciones meteorológicas propicias, esto es, con un cielo sin nubes.

### Referencias

-Ablay, G., and Hurlimann, M. (2000), *Evolution of the north flank of Tenerife by recurrent giant landslides*, J. Volcanol. Geotherm. Res. 103, 135-139.

-Albert-Beltrán, J.F. Araña, V., Diez, J.L., and Valentín, A. (1990), *Physical-chemical conditions of the Teide volcanic system (Tenerife, Canary Islands)*, J. Volcanol. Geotherm. Res. 43, 321-332.

-Ancochea, E., Fúster, J.M., Ibarrola, E., Cendrero, A., Coello, J., Hernán, F., Cantagrel, J.M., and Jamond, A. (1990), *Volcanic evolution of the island of Tenerife (Canary Islands) in the light of new K-Ar data*, J. Volcanol. Geotherm. Res. 44, 231-249.

-Ancochea, E., Huertas, M.J., Cantagrel, J.M., Coello, J., Fúster, J.M., Arnaud, N., and Ibarrola, E. (1999), *Evolution of the Cañadas edifice and its implications for the origin of the Cañadas Caldera (Tenerife, Canary Islands)*, J. Volcanol. Geotherm. Res. 88, 177-199.

-Araña, V. (1985), *Evolución y mezcla de magmas en Las Cañadas del Teide. En Mecanismos eruptivos y estructuras profundas de volcanes italianos y españoles*. Reuní. Cient. CSIC-CNR 38-42.

-Araña, V., Aparicio, A., García Cacho, L., and García García R. (1989), *Mezcla de magmas en la región central del Teide. En Los volcanes y la caldera del parque nacional del Teide (Tenerife, Islas Canarias)*, eds. V. Araña y J. Coello, 269-299.

-Araña, V., Camacho, A.G., García, A., Montesinos, F.G., Blanco, I., Vieira, R., and Felpeto, A. (2000), *Internal structure of Tenerife (Canary Islands) based on gravity, aeromagnetic and volcanological data*, J. Volcanol. Geotherm. Res. 103, 43-64.

-Bravo, T., Coello, J., and Bravo, J. (1976), II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, Madrid, Vol. Com. 2235-2244.

-Cabrera, M.P., and Hernández-Pacheco, A. (1987), *Las erupciones históricas de Tenerife (Canarias) en sus aspectos vulcanológico, petrológico y geoquímica*, Rev. Mat. Proc. Geol. V, 143-182.

-Carracedo, J.C., and Soler, V. (1983), V Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, Madrid, Vol. Com. 2351-2363. Carracedo, J.C. (1994), *The Canary Islands: An example of structural control on the growth of large oceanic-island volcanoes*, J. Volcanol. Geotherm. Res. 60, 225-241.

-Carracedo, J.C., Paterne, M., Guillou, H., Perez Torrado, F.J., Paris, R., Rodriguez Badiola, E., and Hansen, A. (2003a), *Dataciones radiométricas (C14 y K/Ar) del Teide y el rift noroeste, Tenerife, Islas Canarias*, Estudios Geol. 59, 15-29.

-Carracedo, J.C., Guillou, H., Paterne, M., Pérez Torrado, F.J., Paris, R., and Badiola, E.R. (2003b),

Carbon-14 ages of the past 20 ka of eruptive activity of Teide volcano, Canary Islands, EGS - AGU- EUG Joint Assembly, Abstracts from the meeting held in Nice, France, 6 - 11 April 2003, abstract #2627.

-Charco M., Tiampo K.F., Luzón F. and Fernández J. (2005). *Moelling Gravity changes and crustal deformation in active volcanic areas*. Física de la Tierra.

-Diez, J.L., and Albert, J.F. (1989), *Modelo termodinámico de la cámara magmática del Teide. En Los volcanes y la caldera del parque nacional del Teide (Tenerife, Islas Canarias)*, eds. V. Araña y J. Coello, 335-343.

-Eff-Darwich A., Grassin O., Fernández J. (2008b). *An upper limit to ground deformation in the island of Tenerife, Canary Islands, for the period 1997-2006*. Pure and Applied Geophysics, 165,nº6 1049-1070.

-Farrujia, I., Delgado, P., and Bethencourt, J. (1994), *Congr. Análisis y Evolución de la Contaminación de las Aguas Subterráneas*, Alcalá de Henares, Tomo II 397-416.

-Fernandez et al. (2003). *New geodetic monitoring system in the volcanic island of Tenerife, Canaries, Spain. Combination of InSAR and GPS techniques*. Journal of Volcanology and Geothermal Research 124.

-Guillou, H., Carracedo, J.C., Paris, R. and Pérez Torrado, F.J. (2004), *Implications for the early shield-stage evolution of Tenerife from K/Ar ages and magnetic stratigraphy*, Earth Planet. Sci. Lett. 222, 599-614.

-Hammond et al. (2010). *Integrated InSAR and GPS studies of crustal deformation in the western great basin, Western United States*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto, Japan.

-Hernández, P.A., Pérez, N.M., Salazar, J.M., Nakai, S., Notsu, K., and Wakita, H. (1998), *Diffuse emission of carbon dioxide, methane, and helium 3 from Teide volcano, Tenerife, Canary Islands*, Geophysical Research Letters 25, 3311-3314.

-Pérez, N.M., Nakai, S., Wakita, H., Hernández, P.A., and Salazar, J.M. (1996), *Helium-3 emission in and around Teide volcano, Tenerife, Canary Islands, Spain*, Geophysical Research Letters 23, 3531-3534.

-Valentín, A., Albert-Beltrán, J., and Diez, J. (1990), *Geochemical and geothermal constraints on magma bodies associated with historic activity, Tenerife (Canary Islands)*, J. Volcanol. Geotherm. Res. 44, 251-264.





CHAPTER/  
CAPÍTULO  
12

NATURAL HAZARDS & CLIMATE CHANGE  
RIESGOS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Santamarta Juan C., Hernández-Gutiérrez L.E. & Arraiza Bermúdez-  
Cañete M<sup>a</sup>. Paz (Ed.)



Colegio de Ingenieros  
de Montes (Ed.)

ISBN 978-84-617-1060-7

## Forestry and Field Plant Production Technologies in Environmental Life-Cycle Thinking

András Polgár<sup>a\*</sup>, Judit Pécsinger<sup>a</sup>, Edit Pintérné Nagy<sup>a</sup>, Veronika Elekné Fodor<sup>a</sup>, János Rumpf<sup>b</sup>, Katalin Szakálosné Mátyás<sup>b</sup>, Attila László Horváth<sup>b</sup>, Tamás Bazsó<sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Institute of Environment and Earth Sciences, Faculty of Forestry, University of West Hungary, Hungary, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky str. 4.*

<sup>b</sup> *Institute of Forest- and Environmental Techniques, Faculty of Forestry, University of West Hungary, Hungary, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky str. 4.*

<sup>c</sup> *Institute of Geomatics and Civil Engineering, Faculty of Forestry, University of West Hungary, Hungary, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky str. 4.*

---

### Abstract

In our work we developed an environmental analysis model for technological aspects of land-use changes caused by climate changes. In our research we examined environmental implications of cultivation technologies of agricultural land-uses. For the typical agricultural/forestry technologies we set up an eco-balance (input-output material and energy balance) established by process and life cycle approach. The results of each technology balance – by using environmental impact categories of environmental problems – become assessable and comparable. The agricultural technologies connected with land using can be examined by environmental impacts and in terms of environmental riskiness.

© 2014 The Authors. Published by Colegio de Ingenieros de Montes <http://www.ingenierosdemontes.org>

*Peer reviewed*

*Keywords: Type your keywords here, separated by semicolons ; land-use technology; life-cycle assessment; life-cycle impact assessment; global warming potential; carbon footprint; life-cycle thinking*

---

\* Corresponding author: András Polgár. Tel.: +36-99-518-633

*E-mail address:* polgar.andras@emk.nyme.hu

## 1. Introduction

Average condition of the weather, which can be characterized by the expected values of meteorological parameters is called climate of a certain area and period. Researchers agree that the climate changes of Earth is now an indisputable fact for today. The ideas about general tendencies of changing are broadly the same, however, the small details are so site-specific that they need to be researched further (Ladányi 2006).

Change in the characteristics of environmental elements and systems caused by human activities is called environmental impact (Pájer 2008). The environmental impact assessment aims to express the significance of the change, at the same time prepares actions and decisions. The assessment of the environmental effects gives rise to compare different activities in terms of environment (Polgár 2012).

For mutual relationships in a complex environmental system the environmental impacts associated with climate change also need to be examined as an integral part of that system.

By the agricultural land use due to forestry and agriculture, we also influence the evolution of vegetation and land cover.

Following the analysis of Drüszler (2011) we conclude that the development of vegetation is converted especially by the climate through the precipitation, temperature, light and carbon dioxide (Budyko 1974; Prentice 2001; Nemani et al. 2003).

According to recent research, however, also the vegetation react on the climate directly by the albedo, heat, water and provide circulation or indirectly by the changing of CO<sub>2</sub> concentration (Pielke et al. 1998; Betts 2001; Bonan 2004; Matthews et al. 2004; Pitman et al. 2009; Pongratz et al. 2009).

An important area of the Earth's surface is used for crop production and the natural plant cover on nearly 50% of the land area on the planet was changed by the direct intervention of humans (deforestation, urbanisation, agriculture, overgrazing) (Crutzen 2002). The spread of agricultural land, overgrazing and exploitation of fuel wood on arid and semi-arid areas can modify the surface energy balance and the hydrological cycle, and thus the climate (Charney 1975; Charney et al. 1977).

The change of land cover in large areas can drastically modify the amount of carbon stored in biomass and distributed in the atmosphere, the atmospheric concentration of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub>, thereby land cover changing has an indirect impact on climate change by the greenhouse effect (Drüszler 2011).

Rumpf (2011) cites according to Mátyás (2006), recognizing the importance of the atmospheric carbon sequestration puts forestry in a favourable position. Forest management is the only economic activity, which, in addition to being carbon neutral, allows the sustained removal of a significant amount of carbon from the atmosphere , .

It is a fact, that only 11-13% of the surface of the Earth is cultivated, and on the major part of these areas the cultivation is not intensive. Hungary is in the special situation, namely the 50% of its territory is cultivated intensively, and 20% of Hungary is covered by forest treated by a nearly intensive way (Neményi - Milics 2010).

About three quarters of Hungary's surface is occupied by primarily climate-related that is non-irrigated, area: arable land, meadow, forest.

According to generally accepted projections, forest zones of Europe will shift polewards during this century. The expected changes of climate will cause an expansion in the North but a retreat in the South. Mainly due to its effects on biodiversity and landscapes, the shift is receiving wide public attention (Mátyás 2010a).

In 1992 Mátyás realized that the main cause of forest decline in Hungary could be progressive climate change, challenging the limits of genetically set aridity tolerance in local species, and making weakened trees more vulnerable to assault. The line between life and death - the 'xeric limit' - is probably on the move. Such losses will have more dramatic social and economic consequences. Long-term, ground-based or remote-sensing monitoring networks have to be adjusted to improve the observation of forests, especially in drought-threatened flat-lands. These data will be needed to improve models of xeric limit shift and for adaptive resource management, land-use policy and nature conservation. By understanding xeric limits, we can initiate prudent human support of threatened forests, and intervene in ecosystem retreat (Mátyás 2010b).

Due to their different intensity, economic sector and its open technological processes have different environmental impacts. Consequently, due to their corresponding material and energy withdrawals and emissions, the global environmental problems can occur in different ways. Environmental assessment of the technology in process and life cycle approach allows for detailed analysis and the determination of the contribution to climate change. In land uses, in addition to the growing conditions changed by the cultivation techniques and the effects of land cover, the specific environmental aspects of each technology must be taken into account. We believe that the examination of land use represents an important supplement to the technological aspects of current climate researches.

## **2. Objectives**

One of the aims of the agricultural ecosystem research is to detect whether the current land uses and the technologies applied are in accordance with the changed environmental features due to climate change. By the results of the research, knowing the effect of some environmental factors, advice could be given to amend a land use and to apply technologies having less environmental risk.

The main objective of the work of our research group associated to the project of Agroclimate: Development of a decision support system to predict and to adapt to impacts of climate change in forestry and rainfed agriculture” (TÁMOP 4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0013) was the development of an environmental analysis method for changes in land-use caused by the projected climate change, in technological aspect . The analysis model aims the rating of environmental impacts and the determination of environmental riskiness of the cultivation technologies of land use - according to climate scenarios – in life-cycle aspect.

### **3. Material and Methods**

Our studies in forestry were focused on the sample area of Zala County in Hungary . We demonstrate our research methodology by an example in forestry. The method can be applied to field crop production technologies by analogy (Polgár – Wachter 2014).

At first, the selection of specific forestry technologies was needed. In the areas we identified the processes of primary wood production, harvesting, tree utilization and wood processing.

Categorization of the several cultivation technologies allows for easier handling and simplification. Examples: the basis for isolation in forestry can be the exploitation technology of the major tree species (oak, Turkey oak, beech, hornbeam, acacia other hardwood hybrid poplar, poplar, willow, other softwood tree species, pine) or the hardness of wood (hardwood, softwood).

There are modern technologies to collect accurate data from the surface of the land. Nowadays remote sensing, such as spaceborne optical- and microwave remote sensing or airborne optical remote sensing gives a great opportunity for collect data from huge area. Combination of the remote sensing and the Geographic Information System (GIS) is an effective way to create geospatial information for a model. With this method we can analyse the base information, such as land cover, type and status of land cover, size of the area, meteorological conditions, etc. for actual input data to analyse the environment.

Firstly, our research is based on conventional forest data.

Experts established (Rumpf - Szakálosné Mátyás - Horváth 2014) that forest and tree utilization activity have the most significant environmental impact so we focused on the final harvest. In characterized forest stands of the studied area (beech, oak, spruce), we have identified the shortwood system with upper landing .

Table 1. Time of continuous harvesting steps and yields of harvesting in forest stands (beech, oak, spruce)

	Step	Year	Beech (m <sup>3</sup> )	Year	Oak (m <sup>3</sup> )	Year	Spruce (m <sup>3</sup> )
Intermediate cutting	Cleaning cutting	18	20	19	15	15	15
	Selection thinning	40	35	35	63	29	60
	Increment thinning	75	60	70	135	61	90
Final harvest	Final harvest	100	110	105	450	90	450

As the next step, we performed the life cycle assessment (LCA) of the selected technologies, in order to ranking of their the impacts on the basis of carbon footprint.

Preparation of LCA methodology corresponds to requirement of ISO 14040: 2006 and ISO 14044: 2006 standard.

The steps of the LCA were the following:

1. Goal and scope definition:

We performed the comparative environmental analysis of technologies by the LCA method, which allows for ranking them. On the basis of this, environmental risk of them was identified – in the context of the climate scenario used –.

The system boundaries have been determined in the process of final harvest: works in felling area – works in conversion landing – forest and road transport – industrial/citizen uses.

In the case of industrial use, the process boundary was degrading the round assortment logs after transport, while in case of residential use we included also the heat production.

The technological steps in the case of beech and oak tree stand, are the following in short: felling with chainsaw; delimiting with chainsaw; prebucking with chainsaw; forwarding with forwarder; bucking with chainsaw; splitting with hand piling with forwarder; stacking with hand; loading + transport + unloading with crane truck.

The technological steps in the case of spruce stand are the following in short: felling + delimiting + bucking with harvester; forwarding + piling + stacking + slash chipping with forwarder; chipping; loading + transport + unloading with crane truck; chip transport.

As a functional unit 1 ha forest stand was considered relevant to the technology of shortwood system with upper landing related final harvest. We took into account as



reference flow the following: beech: 110 m<sup>3</sup>, oak: 450 m<sup>3</sup> and spruce: 450m<sup>3</sup> harvesting. Assortments in the case of the beech and oak forest stand: stemwood, firewood, branchwood, other harvesting losses. In the case of spruce: stemwood, firewood, branchwood, other harvesting losses, chip.

The transport distance was considered uniformly 50 tkm. The environmental parameters of machines and tools necessary in the technologies have not been included in the analysis .

## 2. Life cycle inventory analysis:

We established environmental inventory database (input- output, elementary flow) by using expert data and calculations of examined technologies (Rumpf- Szakálosné Mátyás- Horváth 2014).

According to Gockler (2014) we used average data, which can be determined error-laden many times, but their use is essential for the analysis.

The reference period for the data was 2013/2014 winter. In terms of the geographical validity of the data , they originate in the territory of operation of Zalaerdő Ltd. The data source were our own data, expert estimation, published data. We present in the following table some of the most important typical forest stand characteristics.

Table 2. Forest stand characteristics

Characteristics	Unit	Forest Stand		
		Beech	Oak	Spruce
age	year	100	105	90
d <sub>1,3</sub>	cm	42	39	33
H	m	28,5	24	21
V <sub>wood</sub>	m <sup>3</sup> /wood	2,26	1,6	1,03
V	m <sup>3</sup> /ha	725	450	450
V <sub>harvested</sub>	m <sup>3</sup>	110	450	450

Then we prepared the model of the examined forest utilization technologies (beech, oak and spruce stand).

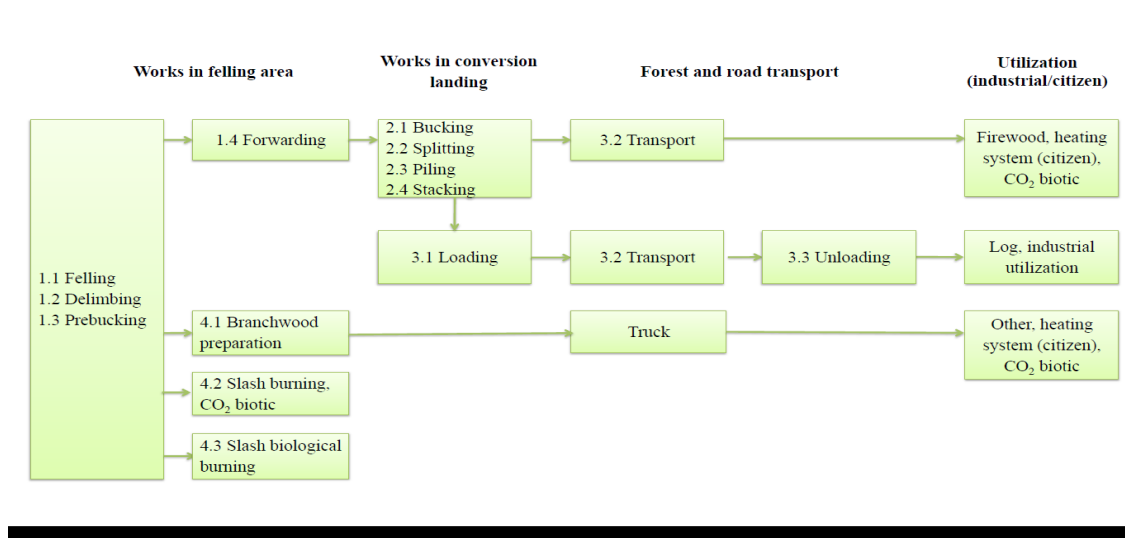


Figure 1. Life cycle plan of shortwood system with upper landing (1 ha hardwood, beech or oak stand, Zala county) based on Rumpf-Szakálosné-Horváth (2014)

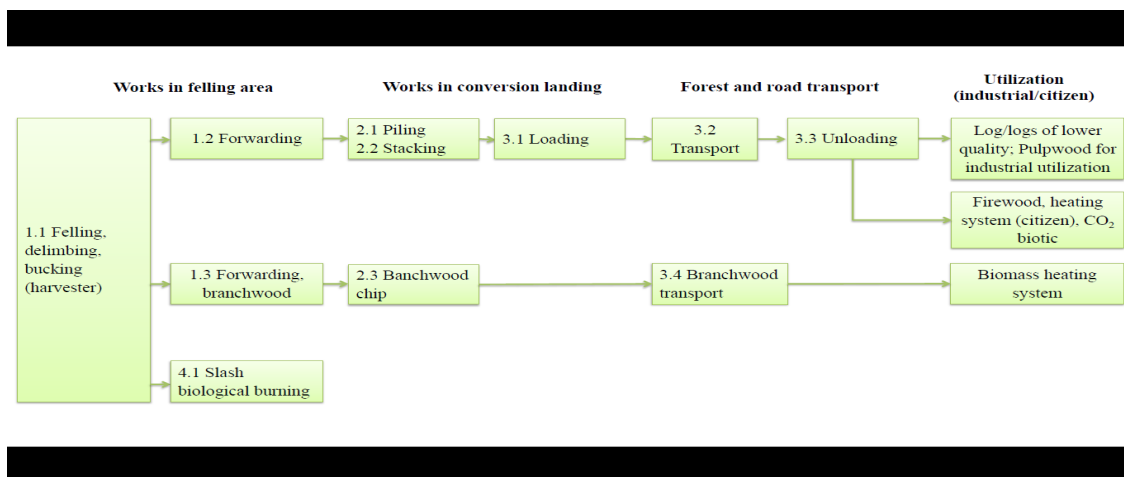


Figure 2. Life cycle plan of shortwood (CTL-cut to length) system with upper landing (1 ha softwood, stand, Zala county) based on Rumpf-Szakálosné-Horváth (2014)

### 3. Life cycle impact assessment:

The steps of the evaluation methodology are described in the ISO 14044:2006 standard. By the standard impact assessment we assigned the results of the inventory - according to the aim and frames of the LCA study - to impact categories. The impact categories are representing classes of environmental problem areas, which can be assigned to the results of inventory. An inventory data can also be linked to one or more impact category. A reference unit was determined according to each impact category. For example the impact of 1 kg CO<sub>2</sub> on global warming is 1, but the contribution of methane emissions to global warming is specified in value of kg of CO<sub>2</sub> (21, 25 depending on the method used) (Bodnárné Sándor- Molnárné Sípós 2010).

There is a wide range of effect evaluation methods. The analysis was performed with:

- the CML2001 (Nov. 2010) impact-driven (midpoint) method and
- the Eco- indicator 99 (EI99) injury-oriented (endpoint) method.

We characterized the examined technologies with the following environmental impact categories based on work of Polgár-Baráth (2014) and Polgár-Wachter (2014).

Table 3. Environmental impact categories in CML2001 - Nov. 2010 (Guinée et al. 2002)

<b>CML2001 - Nov. 2010, Impact Categories</b>	<b>Reference</b>
Abiotic Depletion (ADP elements)	[kg Sb-Equiv.]
Abiotic Depletion (ADP fossil)	[MJ]
Acidification Potential (AP)	[kg SO <sub>2</sub> -Equiv.]
Eutrophication Potential (EP)	[kg Phosphate-Equiv.]
Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP inf.)	[kg DCB-Equiv.]
Global Warming Potential (GWP 100 years)	[kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]
Global Warming Potential, excl biogenic carbon (GWP 100 years)	[kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]
Human Toxicity Potential (HTP inf.)	[kg DCB-Equiv.]
Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.)	[kg DCB-Equiv.]
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state)	[kg R11-Equiv.]
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP)	[kg Ethene-Equiv.]
Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.)	[kg DCB-Equiv.]

There are three different versions of the Eco-indicator 99 methodology in the characterisation process: hierarchist (HA), individualist (IA) and egalitarian (EA),

The EI 99 methodology uses Eco-indicator scores.

The EI 99 methodology is asked to assess the seriousness of just three damage categories:

- Damage to Human Health, expressed the number of year life lost and the number of year lived disabled. These are combined as Disability Adjusted Life Years (DALY), an index that is also used by the World Bank and the WHO.
- Damage to Ecosystem Quality, express as the loss of species over a certain area, during a certain time.
- Damage to Resources, express as the surplus energy needed for future extractions of minerals and fossil fuels (Eco-indicator 99 2000).

Table 4. Environmental impact categories in EI 99

<b>Eco-indicator 99, Impact Categories</b>	<b>Reference</b>
Ecosystem quality, Acidification/nutrification	[PDF*m <sup>2</sup> *a]
Ecosystem quality, Ecotoxicity	[PDF*m <sup>2</sup> *a]
Ecosystem quality, Land-use	[PDF*m <sup>2</sup> *a]
Human health, Carcinogenic effects	[DALY]
Human health, Climate Change	[DALY]
Human health, Ozone layer depletion	[DALY]
Human health, Radiation	[DALY]
Human health, Respiratory (inorganic)	[DALY]
Human health, Respiratory (organic)	[DALY]
Resources, Fossil fuels	[MJ surplus energy]
Resources, Minerals	[MJ surplus energy]

#### 4. Interpretation:

In the last phase of the LCA, the results of life cycle inventory and impact assessment was verified. We have done the comparative analysis and have drafted conclusions. Among the results, the CML2001 (Nov. 2010) - Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO<sub>2</sub>-Equiv.] – and EI 99 – Human health, Climate Change [DALY] – values of examined technologies are used in the followings. On the basis of the values we set up a ranking of technology. So we have received some sort of environmental impact classification of the technologies.

The current technology, as a stressor, has a risk value specified to the climate change. The observed variable in terms of the environmental risk can be the technology because the raw materials, chemicals, machinery, etc. can also be interpreted as danger and can cause damage in the environmental elements, receptors.

In the final step the impact of the technologies were qualified with a ranking of climate scenario (Gálos et al.2014).

The result of the effect of the GWP 100 years category indicator expressed in [kg CO<sub>2</sub>-Equiv.] value is considered to the carbon footprint of the technology. The technologies ranked on the basis of the global warming potential (GWP 100 years) were placed in an expert matrix in context of the average temperature changes of climate change scenarios . The environmental risks were defined in text form.

#### 4. Results

In the life cycle inventory analysis, input-output data specific to the process of technology, i. e. elementary flows were defined. We have summarized the data both of the input and output side. The following table identifies the average necessary inputs and outputs in the shortwood system during final harvest of 1 ha forest stand (Hungary, Zala county, Zalaerdő Ltd.) by type of stands.

Table 5. Total input and output environmental inventory data (Hungary, Zala county, Zalaerdő Ltd.)

Flow	Unit	Forest Stand		
		Beech	Oak	Spruce
Reference period	year	2013-2014, winter	2013-2014, winter	2013-2014, winter
Reference flow: standing wood before cutting	m <sup>3</sup>	110	450	450
<b>Input</b>				
Fuel mixture	kg	38,05	155,66	0
Disel	kg	333,47	1420,89	1951,15
Lubricating oil	kg	39,42	170,71	147,05
<b>Output</b>				
Carbon-dioxide (fossil)	kg	1175,24	4986,38	6155,4
Carbon-dioxide (biotic)	kg	63190	268510	76170
Waste sump oil (recycled)	kg	23,74	106,56	106,95

In input side the need of the fuel and use of lubricating oil of the machines was appeared. Their use has resulted fossil CO<sub>2</sub> emissions.

In output side within the system boundaries we considered the burning of firewood, community branchwood and harvesting losses in felling area, as well as biological burning of harvesting losses. In summary, this was the cause of biotic CO<sub>2</sub> emissions.

During the operation of the machine, the lubricating oil is recovered as waste sump oil. It is important that using chainsaw, 68% of the lubricating oil goes to the ground and sticks to the assortment.

The demand for machines and tools in the applied systems is summarized in the following table.

The technological steps in beech and oak stand can be considered equivalent with negligible differences, the main difference in the inventory data is resulting from the quantity deviation of the produced standing tree. In our work in the spruce stand, significant differences can be founded respect to the forestry equipment applied. In the system, the application of the chipper and the harvester is appeared.

Table 6. Examined demand for machines and tools in shortwood system during final harvest of 1 ha foreststand (Hungary, Zala county, Zalaerdő Ltd.)

Machine, tool	Unit	Forest Stand		
		Beech	Oak	Spruce
Chainsaw (5 kW)	p	1	1	1
Forwarder (82 kW)	p	1	1	1
Truck with crane (RÁBA+LOGLIFT, 10 t bearing capacity, 50 tkm transport distance)	p	1	1	1
Harvester (Timberjack 1270B)	p	0	0	1
Chipper (Jenz Hem 582 built on MAN truck)	p	0	0	1
Truck (50 kW, 50 tkm)	p	1	1	1
Chairot	p	1	1	1
Splitting axe	p	1	1	1
Splitting mallet	p	1	1	1
Hand hook	p	1	1	1
Bow saw	p	1	1	1
Pitchfork	p	1	1	1
Springloaded measuring tape	p	1	1	0

According to the energy balance of systems, differences among ascending order of spruce-beech-oak stands ascending order can be set up.

In the case of spruce „Primary energy demand from renewable and non renewable resources (net cal. value)” value is (-1315799) MJ, in the case of beech is 4982 MJ and in the case of oak is 90280 MJ.

In CML2001 (Nov. 2010) environmental life cycle impact assessment of systems, the following results were based considered according toon during Polgár - Baráth (2014).

Table 7. Environmental impacts of examined systems based on CML2001 (Nov. 2010) evaluation method (Polgár – Baráth 2014)

Environmental quantities - CML2001 - Nov. 2010	Unit	Stand		
		Beech	Oak	Spruce
Abiotic Depletion (ADP elements)	[kg Sb-Equiv.]	1,37E-05	0,000277921	0,000309251
Abiotic Depletion (ADP fossil)	[MJ]	4740,982911	85385,9283	91980,74558
Acidification Potential (AP)	[kg SO <sub>2</sub> -Equiv.]	0,573890495	10,30546649	6,211073554
Eutrophication Potential (EP)	[kg Phosphate-Equiv.]	0,10127922	2,056185006	1,005113188
Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP inf.)	[kg DCB-Equiv.]	0,821743305	18,65981083	21,31169797
Global Warming Potential (GWP 100 years)	[kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	13311,01956	198406,3937	82848,80109
Global Warming Potential, excl biogenic carbon (GWP 100 years)	[kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	365,3942257	6558,138975	7089,884801
Human Toxicity Potential (HTP inf.)	[kg DCB-Equiv.]	7,883415543	154,4055992	161,2346669
Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.)	[kg DCB-Equiv.]	3181,803748	60440,93431	66103,06407
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state)	[kg R11-Equiv.]	6,73E-09	1,28E-07	1,40E-07
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP)	[kg Ethene-Equiv.]	-0,06472527	-1,593160544	0,610269699
Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.)	[kg DCB-Equiv.]	2,421461461	62,03936647	72,67024804

To the better overview the values are presented in diagram too based on Polgár – Baráth (2014).

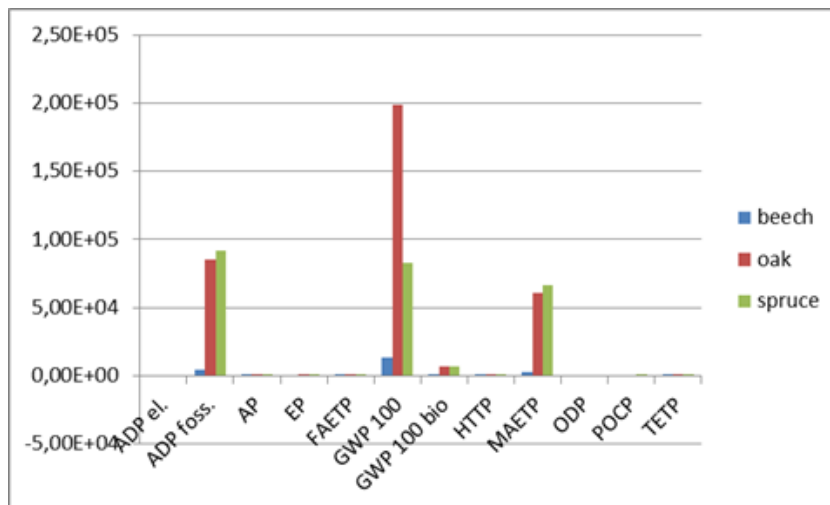


Figure 3. Environmental impacts of work systems in CML2001 (Nov. 2010) impact categories (Polgár – Baráth 2014)

From the figure you can see that the work systems had the greatest impact on global warming (GWP 100 years) throughout their life cycle. This is explained by the amount of carbon dioxides releasing to the atmosphere resulting from the fuel usage of the technologies. In this impact category, life cycle share of the technologies was in the case of beech around 5%, in the case of spruce around 28%, in the case of oak around 67%. Significant impact category emerged as the abiotic depletion (ADP foss) and the marine aquatic ecotoxicity (MAETP). These impact categories could be explained by the share of input of fuel and lube.

The work systems raking gives the he increasing order of beech-spruce-oak in every case.

The next figure shows the relative contribution of impact categories according to Polgár – Baráth (2014).

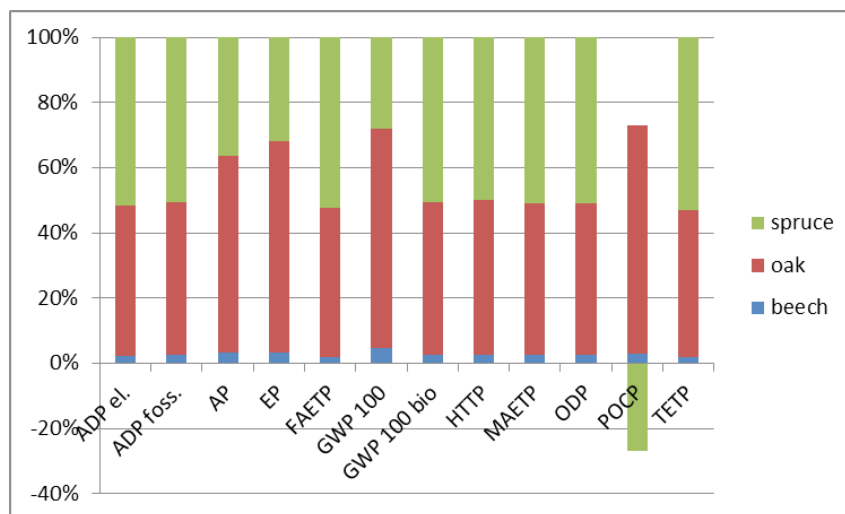


Figure 4. The relative contribution of work system's impact categories in CML2001 (Nov. 2010) (Polgár – Baráth 2014)



In the case if we want to show all of the environmental impacts in one figure, we have to use the means of normalization and weighting. This method is able to show the results of all impact categories in the same time. Looking at the next figure, it can be stated that also in the case of the total environmental impact of the applied work systems in examined forest stands, the beech-spruce-oak order can be set up.

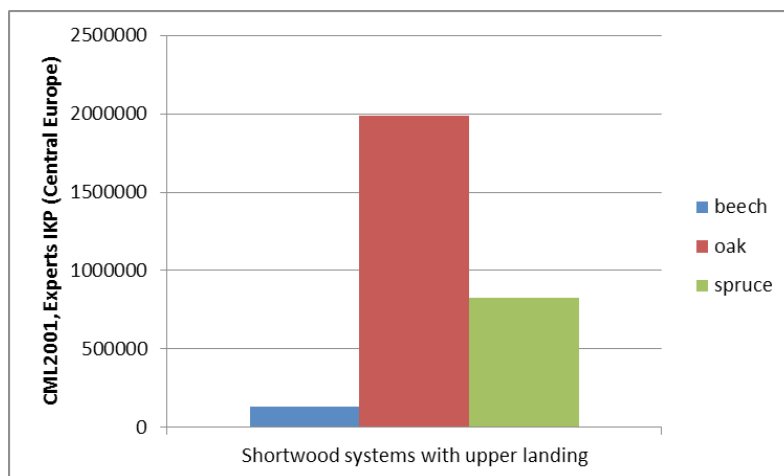


Figure 5. Environmental impacts of work system's life cycle (normalized, weighted values) (Polgár – Baráth 2014)

We also valued the inventory data according to Eco-indicator 99 method. The next figures show the result's values in egalitarian, hierarchist and individualist approach.

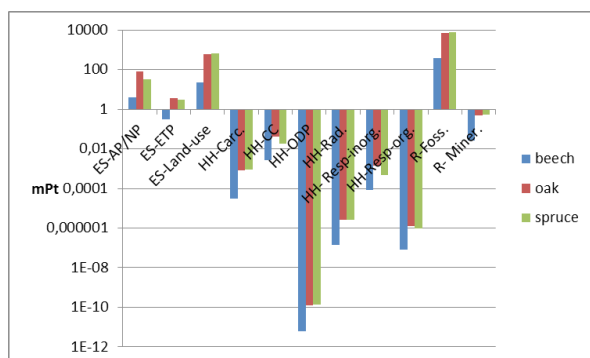


Figure 6. EI 99 [mPt], Egalitarian (Polgár – Baráth 2014)

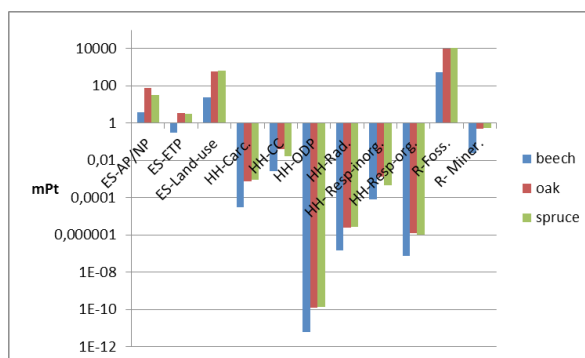
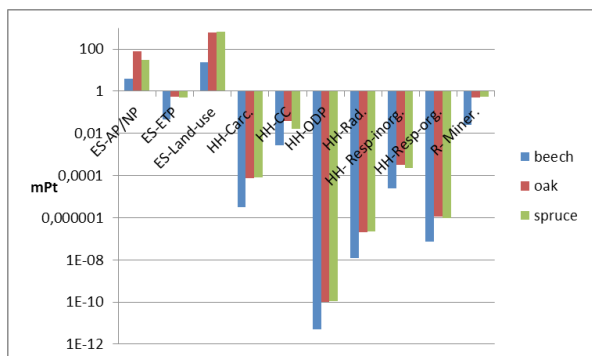


Figure 7. EI 99 [mPt], Hierarchist (Polgár – Baráth 2014)



Highlighting the EI99, Human health, Climate Change [DALY] values, in the case of total environmental impacts of work systems, we got the beech-spruce-oak increasing order in all three approaches .

We got the same result based on the used methods of environmental impact assessment.

Figure 8. EI 99 [mPt], Individualist (Polgar – Barath 2014)

The technologies, which were ranked based on global warming potential value (GWP 100 years), we put in an expert matrix in context with the average temperature changes of climate changes scenarios (Galos et al. 2014),.

By this the environmental risks of technologies can be specified in present (1980-2010), in 2025 (2010-2040), in 2055 (2040-2070) and in 2085 (2070-2100). . The environmental risks are determined in text form:

- I. class: high
- II. class: medium
- III. class: low.

Table 8. Expert matrix:.Environmental risk classes of technologies in the context of climate scenarios

Climate	Variable	Jelen (1980-2010)	2025 (2010-2040)	2055 (2040-2070)	2085 (2070-2100)
			temperate	warm	warmer
Temperature	Average change (dC°)	temperate	low rise	rise	strong rise
		0	0,9	2,1	3,2
Technology	Trait				

Beech shortwood system with upper landing	Technology's Environmental Risk based on the global GWP 100 years [kg CO <sub>2</sub> - equivalent]	III. class	III. class	II. class	II. class
Spruce shortwood system with upper landing	Technology's Environmental Risk based on the global GWP 100 years [kg CO <sub>2</sub> - equivalent]	III. class	II. class	II. class	I. class
Oak shortwood system with upper landing	Technology's Environmental Risk based on the global GWP 100 years [kg CO <sub>2</sub> - equivalent]	II. class	II. class	I. class	I. class

Use of the created risk matrix means an important supplement in the decision-making related to the climate changing as regards the choice of technologies. It can offer a guideline for farmers and policy-makers also.

Using the developed methodology, as another element, the map illustration has to be determined in the studied sample area.

There is a good possibility to present the results with a thematic map, what can be very impressive to make a decision. It is an important part of the presentation to make a risk map on a larger area, even the whole country. The manage of the data in a Geographic Information System is very effective and it is easy to follow the changes and the intervention with it.

## 5. Summary

In our work we developed an environmental analysis model for changes in land-use caused by the projected climate changes, in technological aspect. In our opinion, the examination of technological aspect land use represents an important addition to the existing climate research.

During the environmental analysis we focused the tree utilization out of forestry technologies, and especially final harvest in beech, oak and spruce stands. Involving experts, we prepared the

environmental inventory of the examined shortwood systems.

Using life cycle analysis we performed ranking of environmental impacts of work systems, which resulted the beech-spruce-oak increasing order.

The technologies, which were ranked based on global warming potential value (GWP 100 years), we put in an expert matrix in context with the average temperature changes of climate changes scenarios. The risks of environmental technologies were divided into classes: (I. class: high, II. class: medium, III. class: low). By taking it into account, the classification could be a guideline for farmers and decision-makers in choice of technology.

### Acknowledgement:

We express our gratitude to the project of „Agroclimate: Development of a decision support system to predict and to adapt to impacts of climate change in forestry and rainfed agriculture” (TÁMOP 4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0013) for the support.

### References

- Betts, R.A. (2001): Biogeophysical impacts of land use on present-day climate: nearsurface temperature change and radiative forcing, *Atmospheric Science Letters* 1 (23pp), doi: 10.1006/asle.2001.0023
- Bodnárné Sándor, R. - Siposné Molnár, T. (2010): Comparative Life Cycle Assessment of Petrol and Diesel Products [Benzin és dízel termékek életciklus elemzése], Bay-Logi – Department of Environmental Management and Logistics [Környezetmenedzsment és Logisztika Osztály], Miskolc (in Hungarian)
- Bonan, G. B. (2004): Biogeophysical Feedbacks Between Land Cover and Climate, Ecosystem and Land Use Change: 61-72.
- Budyko, M. I. (1974): *Climate and Life*, Academic Press, 608 pp.
- Charney, J. G. (1975): The dynamics of deserts and droughts, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 101: 193-202.
- Charney, J. G., W. J. Quirk, S. H. Chow, And J. Kornfield (1977): A comparative study of the effects of albedo change on drought in semiarid regions, *J. Atmos. Sci.*, 34: 1366-1385.
- Crutzen Pj. (2002): Geology of mankind – the Anthropocene, *Nature*, 415: 23, doi:10.1038/415023a
- Drüszler, Á. (2011): Meteorological effects of land cover change in 20th-century Hungary. PhD Thesis. [A 20. századi felszínborítás-változás meteorológiai hatásai Magyarországon. Doktori értekezés.] University of West Hungary, Faculty of Forestry, Kitaibel Pál Doctoral School of Environmental

- Sciences [Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar, Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola.] Sopron (in Hungarian)
- Eco-Indicator 99 Manual For Designers (2000). A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment Communications Directorate, The Netherlands, The Hague
- Gálos B., A. Hänsler, K. Gulyás, A. Bidló, and K. Czimber (2014): Future tendencies of climate indicators important for adaptation and mitigation strategies in forestry. EGU General Assembly, Vienna, 27 April - 02 Mai, 2014; Geophysical Research Abstracts Vol. 14, on-line: <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2014/EGU2014-4942-1.pdf>
- Gockler, L. (2014): Cost of Agricultural machinery operation in 2014. [Mezőgazdasági gépüzemeltetés költsége 2014-ben.] Agroinform News Service, Institute of Agricultural Engineering [Agroinform Hírszolgálat, Mezőgazdasági Gépesítési Intézet], Gödöllő, on-line: <http://www.agroinform.com/aktualis/A-mezogazdasagi-gepuzemeltetes-koltsege-2014-ben/20140224-24667/> (in Hungarian)
- Guinée, J.B.; Gorrée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; Koning, A. De; Oers, L. Van; Wegener Sleeswijk, A.; Suh, S.; Udo De Haes, H.A.; Bruijn, H. De; Duin, R. Van; Huijbregts, M.A.J.: Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 2002, 692 pp. on-line: <http://cml.leiden.edu/research/industrialecology/researchprojects/finished/new-dutch-lca-guide.html>
- Ladányi, M. (2006): Processing options in agro-ecosystem modeling. PhD Thesis. [Folyamatszempléti lehetőségek az agro-ökoszisztémák modellezésében. Doktori értekezés.]. Budapesti Corvinus Egyetem (in Hungarian)
- Matthews, H.D., Weaver, A.J., Meissner, K.J., Gillett, N.P., Eby, M. (2004): Natural and anthropogenic climate change: incorporating historical land cover change, vegetation dynamics and the global carbon cycle, *Clim. Dyn.*, 22:461–479
- Mátyás, Cs.: (2006): Forests in the global and domestic carbon circulation [Erdők a globális és hazai szénforgalomban]. In: Szulcsán G (Ed.): Alföldi Erdőkért Egyesület. Conference Proceedings: Hungary, Szeged, 14.11.2006., pp. 5-13. (in Hungarian)
- Mátyás, Cs. (2010a): Decelerating the retreat. *Public Service Journal, Science and Technology*, Sep 20, 8: 118-119
- Mátyás, Cs. (2010b): Forecasts needed for retreating forests. *Nature* 464: 1271.
- MSZ EN ISO 14040:2006 - Környezetközpontú irányítás. Életciklus-értékelés. Alapelvek és keretek (ISO 14040:2006) [Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework (ISO 14040:2006)]
- MSZ EN ISO 14044:2006 - Környezetközpontú irányítás. Életciklus-értékelés. Követelmények és útmutatók (ISO 14044:2006) [Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines (ISO 14044:2006)]

- Nemani, R. R., C. D. Keeling, H. Hashimoto, W. M. Jolly, S. C. Piper, C. J. Tucker, R. B. Myneni, And S. W. Running (2003): Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999, *Science*, 300: 1560-1563.
- Neményi, M. – Milics, G. (2010): Optimization of Biomass Production by Thermodynamic Approach. Conference Proceedings. International Conference on Agricultural Engineering. Clermont-Ferrand, France, 6–8 September, 1–7.
- Pájer, J. (1998): Environmental Impact Assessments. [Környezeti hatásvizsgálatok]. University of Sopron, Sopron (in Hungarian)
- Pielke, R., R. Avissar, M. Raupach, A. J. Dolman, X. Zhen, And A. S. Denning (1998): Interactions between the atmosphere and terrestrial ecosystems: Influence on weather and climate, *Global Change Biology*, 4: 461–475.
- Pitman, A.J., De Noblet-Ducoudre, N., Cruz, F. T., Davin, E. L., Bonan, G. B., Brovkin, V., Claussen, M., Delire, C., Ganzeveld, L., Gayler, V., Van Den Hurk, B.J.J.M., Lawrence, P.J., Van Der Molen, M.K., Müller, C., Reick, C.H., Seneviratne, S.I., Strengers, B.J. And A. Voltaire (2009): Uncertainties in climate responses to past land cover change: First results from the LUCID intercomparison study, *Geophysical Research Letter*, 36: L14814, doi:10.1029/2009GL039076
- Polgár, A. (2012): Environmental Impact Evaluation in the Environmental Management Systems. [Környezeti hatásértékelés a környezetirányítási rendszerekben]. PhD dissertation, University of West Hungary, Faculty of Forestry, Pál Kitaibel Doctoral School of Environmental Sciences, Sopron (in Hungarian)
- Polgár, A., Baráth Zs. (2014): Life cycle approach examination of forest utilization. [Erdőhasználat életciklus szemléletű vizsgálata]. Working paper of MSc Thesis. University of West Hungary, Faculty of Forestry, Institute of Environmental and Earth Sciences, Department of Environmental Protection, Sopron (in Hungarian)
- Polgár, A., Wachter K. (2014): Environmental life-cycle analysis of crop production technologies. [Növénytermesztési technológiák környezeti életciklus-elemzése]. Working paper of MSc Thesis. University of West Hungary, Faculty of Forestry, Institute of Environmental and Earth Sciences, Department of Environmental Protection, Sopron (in Hungarian)
- Pongratz, J., T. Raddatz, C. H. Reick, M. Esch, And M. Claussen (2009): Radiative forcing from anthropogenic land cover change since A. D. 800, *Geophysical Research Letter*, 36: L02709, doi: 10.1029/2008GL036394.
- Prentice, I. C. (2001): Interactions of climate change and the terrestrial biosphere, *Geosphere–Biosphere Interactions and Climate*, L. O. Bengtsson and C. U. Hammer (eds.), Cambridge University Press, 176–195.
- Rumpf, J. (2011): Handbook of forest utilization. [Az erdőhasználaton kézikönyve]. First volume. Rumpf János published. University of West Hungary, Faculty of Forestry, Institute of Forest- and Environmental Techniques, Department of Forest utilization, Sopron (in Hungarian).

Rumpf, J., Szakálosné Mátyás, K., Horváth, A. (2014): Environmental inventory data service of forest utilization systems in project „Agroclimate: Development of a decision support system to predict and to adapt to impacts of climate change in forestry and rainfed agriculture” [Erdőhasználati munkarendszerek környezeti leltár-adatszolgáltatása az „Agrárklíma: az előrejelített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti és agrárszektorban”] (TÁMOP 4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0013). University of West Hungary, Sopron (in Hungarian)



CHAPTER/  
CAPÍTULO  
13

NATURAL HAZARDS & CLIMATE CHANGE  
RIESGOS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Santamarta Juan C., Hernández-Gutiérrez L.E. & Arraiza Bermúdez-  
Cañete M<sup>a</sup>. Paz (Ed.)



Colegio de Ingenieros  
de Montes (Ed.)

ISBN 978-84-617-1060-7

## Efectos económicos de la valorización de los lodos obtenidos en los procesos de depuración de aguas residuales

Ruiz-Rosa, I. <sup>a</sup> Rodríguez-Gómez, L.E. <sup>b</sup>, García-Rodríguez, F.J. <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Análisis Económico, Economía Financiera y Contabilidad. Universidad de La Laguna

<sup>b</sup> Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica. Universidad de La Laguna

<sup>c</sup> Departamento de Dirección de Empresas e Historia Económica. Universidad de La Laguna

---

### Abstract

La exigencia, por parte de la Directiva Comunitaria 91/271/CEE (Directiva del Consejo de las Comunidades Europeas de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas), de construir estaciones depuradoras con tratamiento biológico en todas las poblaciones de más de 2.000 habitantes se traduce, automáticamente, en la producción de una mayor cantidad de lodo resultado del propio proceso de depuración de aguas residuales. Este hecho, unido a la cada vez más estricta normativa medioambiental referida al tratamiento posterior de los residuos, obliga a buscar nuevos sistemas de tratamiento de lodos que permitan facilitarle a la biosfera el proceso de asimilación de los mismos.

Muchas de estas nuevas tecnologías tienen como objetivo transformar el lodo obtenido en un subproducto reutilizable, abandonando la tradicional consideración de desecho que tiene. Este cambio de enfoque en la gestión de los lodos supone, desde un punto de vista económico, convertir una externalidad negativa en un nuevo recurso económico, y a su vez, genera una serie de consecuencias que afectan al propio proceso de depuración y, en su caso, a la reutilización de las aguas residuales.

En este trabajo se hace un análisis de los efectos económicos que se derivan de la valorización de los lodos obtenidos del proceso de depuración de aguas residuales, tratando de avanzar en el necesario proceso de dimensionamiento mediante su cuantificación monetaria.

© 2014 The Authors. Published by Colegio de Ingenieros de Montes <http://www.ingenierosdemontes.org>

*Peer reviewed*

**Keywords:** Planificación económica del agua; depuración de aguas residuales; lodos

Corresponding author name: Inés Ruiz Tel.: +34 922-31-71-94

*E-mail address:* ciruiz@ull.es



## 1. Introducción

La Directiva Comunitaria 91/271/CEE (Directiva del Consejo de las Comunidades Europeas de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas) ya exigía que, a partir del 1 de enero de 2006, todas las aguas residuales producidas por aglomeraciones de entre 10.000 y 15.000 habitantes-equivalentes, debían ser sometidas a un proceso de depuración utilizando un tratamiento secundario, a excepción de las zonas de aguas costeras identificadas como menos sensibles, para las que sólo se exige al menos un tratamiento primario.

Por otro lado, para las poblaciones de menos de 2.000 habitantes-equivalentes la normativa exigía al menos un “tratamiento adecuado” de las aguas residuales, entendiéndose como tal, aquel tratamiento que permita que las aguas receptoras cumplan después del vertido los objetivos de calidad previstos. Teniendo en cuenta que al depurar el agua residual lo que se hace, en definitiva, es separar las sustancias contaminantes que ésta contiene, es obvio que la aplicación de esta normativa se traduce automáticamente en la producción de una mayor cantidad de lodo resultado del propio proceso de depuración de aguas residuales.

Este hecho unido a la cada vez más estricta normativa medioambiental referida al tratamiento posterior de los residuos, y a la aparición del Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, que regula la reutilización de las aguas regeneradas (aguas tratadas para ser reutilizadas), obliga a buscar nuevos sistemas de tratamiento para éstos que permitan facilitarle a la biosfera el proceso de asimilación del desecho final, aplicando la jerarquía en las opciones de gestión, priorizando la prevención de la contaminación, la reutilización y el reciclado sobre el vertido, y analizando diferentes tipos de valorización, incluida la energética, y dejando en último lugar el depósito en vertedero.

En el caso específico de España, y con el fin de cumplir con la normativa fijada por la Directiva Comunitaria 91/271/CEE, y tras la finalización del Plan Nacional de Saneamiento y Depuración (1995-2005), el Ministerio de Medio Ambiente, en colaboración con las Comunidades Autónomas, redactó el Plan Nacional de Calidad de las Aguas, Saneamiento y Depuración 2008-2015. En este plan se propone, entre los ejemplos de actuaciones encaminadas a fomentar la I+D+i en el campo del saneamiento y la depuración, el desarrollo de estudios relacionados con los lodos y producción de biosólidos.

Por lo tanto, analizar los sistemas de depuración adecuados, tanto desde el punto de vista técnico como económico, parece obligatorio, a fin de que el Ministerio de Medio Ambiente y, en general, las Administraciones implicadas dispongan de un instrumento que les ayude a desarrollar eficazmente las actuaciones a llevar a cabo en este ámbito.

En este trabajo se hace un análisis de las opciones de valorización de los lodos obtenidos en el proceso de depuración de aguas residuales, para continuar reflexionando sobre el tratamiento económico de las externalidades negativas. Finalmente se analiza el efecto económico que genera, en el proceso de depuración de aguas residuales, la valorización de los lodos, es decir su reutilización y/o reciclaje con el fin de eliminar, o al menos disminuir, la externalidades negativas asociadas a su vertido.

## 2. Depuración de aguas residuales y generación de lodos

La depuración de aguas residuales cumple con un importante beneficio social puesto que permite reducir el impacto medioambiental negativo que tendría el vertido final del agua sobre los ecosistemas acuáticos y terrestres.

Sin embargo, y a pesar de los beneficios asociados al tratamiento de las aguas residuales, existen una serie de problemas medioambientales asociados al proceso de depuración. Fornás y Colomer (2008) analizan dieciocho Declaraciones de Impacto Ambientales, correspondientes a Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales ubicadas a lo largo de todo el territorio español y publicadas en el Boletín Oficial del Estado, y consiguen identificar una serie de factores ambientales susceptibles de provocar un impacto negativo (ver tabla 1).

Tabla 1: Factores ambientales relacionados con el proceso de depuración de aguas residuales e impactos potenciales asociados

<b>Factor ambiental</b>	<b>Descripción</b>
Calidad del aire	Emisión de polvo y gases al aire
Calidad del efluente	Características del agua tratada
Elementos arqueológicos y patrimonio cultural	Afecciones por las obras
Excavaciones, vías pecuarias	Afecciones a otras infraestructuras
Fauna	Impacto sobre población existente
Gestión de lodos	Generados en la explotación
Hábitat, vegetación y espacios protegidos	Afección sobre vegetación
Hidrología superficial	Escorrentías
Olores	Por la actividad que se desarrolla
Paisaje	Impacto visual
Residuos y suelos	Por una posible mala gestión
Ruidos	Durante obras y explotación
Salubridad y limpieza	Plagas, proliferación de organismos
Ubicación de instalación	Características de las zonas ocupadas
Otras molestias a la población	

Muchos de estos factores ambientales, que producen o pueden llegar a producir impacto negativo, están vinculados de una manera u otra con la producción de lodos como consecuencia del propio proceso de depuración de las aguas residuales. Por lo que se concluye que entre los posibles perjuicios, sea la generación de lodos uno de los más preocupantes.

Al tratar el agua residual lo que se hace es transformar y/o separar del agua determinadas sustancias contaminantes que contiene; por lo que en realidad, dichas sustancias no desaparecen, sino que quedan concentradas en una corriente, que debe ser tratada, antes de su vertido final. Este

problema, además, cobra mayor importancia en poblaciones pequeñas y en territorios insulares, en los que el espacio físico está muy limitado. La Directiva 91/271/CEE reconoce como pequeña población a las aglomeraciones urbanas de menos de 2.000 habitantes equivalentes. En España existen unos 6.000 municipios, de los más de 8.000 existentes, que cuentan con menos de 2.000 habitantes, lo que supone un 75% de los núcleos poblacionales de todo el país.

### **3. Optimización de la gestión técnica de los lodos generados en el tratamiento de las aguas residuales**

A grandes rasgos, con el tratamiento de los lodos generados en el proceso de depuración o regeneración de aguas residuales se pretende:

- La disminución del contenido de agua en el lodo (deshidratación).
- La estabilización de la materia orgánica, para evitar problemas de fermentación y putrefacción.
- La eliminación de organismos patógenos.
- Conseguir una textura adecuada para que resulten manejables y transportables.

A la hora de plantear alternativas para conseguir estos objetivos hay que tener en cuenta que los lodos de depuradora tienen la consideración de residuos, en principio, no peligrosos (código 19 08 05, según el Listado Europeo de Residuos) salvo que existan vertidos industriales que aporten contaminantes tóxicos.

Como al resto de residuos generados en el territorio español, les es de aplicación la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos, que regula el marco normativo en la gestión de los residuos. En este sentido, esta ley establece una jerarquía, en la que se potencia la prevención de la contaminación y la reutilización y reciclaje de estos productos, frente a su disposición final en vertederos controlados.

La peculiaridad de estos residuos, en cuanto a su tratamiento y gestión, fue abordada en el Plan Nacional de Lodos de Depuradoras (PNLD, 2001-2006), sustituido más tarde por el segundo Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales (II PNLD), que abarca el periodo 2008-2015, dentro del Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR). En ambos, y siguiendo la jerarquía en la gestión y las directrices marcadas por la Unión Europea, se potencia la valorización de estos subproductos, principalmente, su aplicación en agricultura por su alto contenido en nutrientes. Igualmente, se contempla la valorización energética de los lodos y, como opción última, su disposición en vertedero. Por tanto, siempre que los lodos cumplan

los requisitos legales establecidos, se considera que la opción más sostenible es el reciclaje de nutrientes y materia orgánica mediante su aplicación al suelo.

Concretamente el nuevo plan de lodos (II-PNLD), vigente en la actualidad, tiene los siguientes objetivos cuantitativos:

- Valorización en usos agrícolas de al menos el 70% de los lodos antes del 2011.
- Valorización energética de un 15%, como máximo, de los lodos antes de 2011.
- Depósito en vertedero de un 15%, como máximo, de los lodos antes de 2011.
- Correcta gestión ambiental del 100% de las cenizas de incineración de los lodos.

Por otro lado, el Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario, impone una serie de disposiciones administrativas sobre el control de la producción y comercialización de los lodos tratados, que deberán ser controladas por las Comunidades Autónomas y paralelamente crea el Registro Nacional de Lodos, adscrito al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Estando todo ello regulado por la Orden Ministerial de 26 de octubre de 1993 (BOE 5 de noviembre de 1993), sobre utilización de lodos de depuradoras en el sector agrario.

En cuanto a la valorización energética de los lodos de depuradora, este aspecto no se encuentra regulado específicamente en ningún texto normativo, aunque existe una Directiva Europea relativa a la incineración de residuos (DE 2000/76/CE).

Por último, el vertido de los lodos en vertederos controlados está regulado por el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se legisla la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. Para proceder al depósito prolongado de los lodos de depuradora en un vertedero controlado éstos deben cumplir con las especificaciones definidas en este Real Decreto. Estos desechos pueden ser depositados en vertederos específicos de lodos o en vertederos combinados. Para su vertido, los lodos requieren de un tratamiento previo de estabilización y solidificación, pues no es posible el vertido de residuos líquidos. Asimismo, en el anexo II del Real Decreto, sobre criterios y procedimientos para la admisión de residuos, se especifican los procedimientos generales de prueba y admisión de residuos.

Con frecuencia, en el proceso de valorización de los lodos se realizan varios tratamientos encadenados, en ocasiones innecesarios e incluso perjudiciales desde el punto de vista ambiental. Por ello, un objetivo del nuevo Plan Nacional de Lodos de Depuradoras (2008-2015), consiste en precisar los tratamientos realmente necesarios para optimizar la valorización de los lodos. En algunos casos es posible mejorar de manera significativa la eficiencia de los tratamientos, introduciendo pequeñas modificaciones en los procesos. Las medidas que se adopten en este sentido propiciarán, no sólo una mejor gestión, sino una disminución del coste asociado a su gestión. También se pretende mejorar la eficiencia energética de estos procesos, minimizando

los consumos de energía no renovables y produciendo ésta siempre que sea posible, por ejemplo, a partir del metano generado en los procesos anaerobios.

En resumen, es fundamental, además de evitar los impactos negativos asociados a la generación de lodos, buscar alternativas de reutilización que permitan cerrar por completo el proceso de tratamiento de las aguas residuales, ya sea depuración o regeneración.

#### **4. Tratamiento económico de las externalidades negativas**

A la optimización de la gestión técnica de este tipo de procesos se suma la valoración económica de su ejecución. Tradicionalmente, al menos hasta principios del presente siglo, las repercusiones que la actividad empresarial ha tenido en el medio ambiente, en el cual se halla inserta, han tendido a ser mayoritariamente obviadas del análisis económico. Así, las aportaciones de los economistas a partir del siglo XVIII van excluyendo progresivamente de su campo de análisis aquellos aspectos ligados a la biosfera y a los recursos naturales, hasta el punto de centrar su análisis sólo en aquellos fenómenos “fácilmente expresables en valores de cambio y que son autorregulables” (Aguilera, 1994). Esta tendencia “reduccionista” del hecho económico está influida inicialmente, según diversos autores, por el paradigma “mecanicista – cartesiano” (véase Aguilera, 1994; Kaap, 1966; Naredo, 1996).

No obstante, y debido a las evidentes deficiencias de un enfoque de la actividad económica, y por tanto de la empresarial, que no tenía en cuenta las consecuencias, ni del consumo masivo de recursos naturales, ni de los residuos generados en las actividades productivas, surgen a principios de este siglo las primeras aportaciones analíticas centradas en determinar las consecuencias de la actividad empresarial en el medio ambiente.

Pigou (1920) sostiene que, bajo determinadas circunstancias, el valor del Producto Neto Marginal Privado difiere del Producto Neto Marginal Social, debido a que una parte del producto de una unidad adicional de recursos puede revertir a agentes distintos de quienes han realizado la inversión. En este contexto cabe situar las repercusiones ambientales de la actividad empresarial, de manera que, siendo la empresa la responsable de la inversión, el resultado de la misma puede afectar a “agentes terceros”, bien de manera positiva (carácter de bien público de determinadas actuaciones de recuperación o cuidado ambiental) o bien de forma negativa (degradación ambiental). Pigou (1920) concluye en la necesidad de establecer subvenciones o impuestos para alentar o desalentar, respectivamente, este tipo de actividades.

Coase (1960) analiza las acciones empresariales que presentan efectos perjudiciales sobre terceros, haciendo énfasis en la naturaleza recíproca del problema. La solución general a este tipo de disfunciones es una correcta asignación inicial de derechos de propiedad, que posteriormente podrían negociarse en el mercado. La clave estaría en la comparación de las situaciones finales a partir de asignaciones iniciales alternativas. Sólo habría de intervenir en el caso de que los

costes de transacción fuesen superiores a los beneficios obtenidos de la negociación.

Por otro lado, Kapp (1966) realiza un prolijo análisis de los “costes sociales”, entendidos como las pérdidas, directas o indirectas, soportadas por terceras personas o por el público en general, como resultado del desarrollo ilimitado de actividades económicas y de las que los empresarios privados no se consideran responsables. Según él, existe un defecto de información sobre la magnitud de tales costes y resulta muy difícil, en muchas ocasiones, establecer una medida estadística de los mismos, aunque no por ello el concepto pierde su operatividad. Además, con frecuencia sería posible realizar medidas sustantivas, aunque no monetarias, de dichos costes. Para el análisis de los costes sociales, el concepto teórico central es el principio de la causación circular o acumulativa, según el cual el proceso social se caracteriza por la interacción de muchas variables económicas y no económicas cuyos efectos conjuntos mueven el sistema hacia posiciones lejanas al equilibrio. Ello implicaría que el sistema económico no sería capaz de generar mecanismos autorreguladores de los efectos producidos por los costes sociales. Concluye Kapp (1966) sosteniendo que los costes sociales son un fenómeno común a las economías de empresa. Su olvido o menosprecio afecta en gran medida a la correcta utilización de los recursos, es decir, a la eficiencia máxima.

Otros autores plantean un análisis de las externalidades que pone en oposición los intereses de las empresas generadoras de las mismas con el público en general. En oposición a Coase (1960), llegan a la conclusión de que la asignación inicial de los derechos de propiedad sobre el medio ambiente, bien a las empresas o bien a los consumidores, implica niveles de outputs óptimos diferentes, y por tanto distintos grados de contaminación y, consecuentemente, de bienestar (Mishan, 1971). Además, se presentan tautologías de títulos de propiedad sobre el medio ambiente y sus diferentes consecuencias para el bienestar y el óptimo social (Bromley, 1978).

Además de este enfoque de la actividad empresarial, centrado en las “externalidades” o “costes sociales” que la misma genera, también son interesantes los análisis que se han venido realizando sobre las repercusiones de la acción de las empresas en relación con el agotamiento de los recursos naturales no renovables. En este sentido, se ha generado un debate que pone en oposición a partidarios del sistema de precios como adecuado regulador del uso privado de los “activos no renovables” (Solow, 1974), frente a los que propugnan mecanismos reguladores, dado que la actividad empresarial por sí sola generaría comportamientos especuladores y monopolísticos, alejando la tasa de uso de estos recursos del óptimo social (Davidson, 1984).

Asimismo, es interesante destacar una perspectiva que ha irrumpido con fuerza en este debate: el llamado “enfoque institucionalista”, que hace énfasis en la importancia de los factores normativos en la gestión de los recursos ambientales, así como en las instituciones y organizaciones encargadas de definir y aplicar dichas normas. Siguiendo esta perspectiva, sería en los posibles cambios a realizar en el entramado institucional donde habría que centrar el debate de la relación entre empresa y medio ambiente (Bromley, 1985). Por otra parte, y en oposición a la llamada “economía ambiental”, que trata de integrar en el aparato de análisis económico la problemática ecológica a partir de los presupuestos *Pigouvianos*, surge el enfoque de la “economía ecológica” que propone, según Aguilera (1994), una “reconstrucción conceptual”

para integrar la biosfera y las leyes físicas, desde una perspectiva sistémica, dentro del análisis económico. Asimismo, se evidencia la necesidad de un profundo estudio de los ecosistemas y la integración del enfoque institucionalista como elementos clave para redefinir la actividad económica (y por tanto la empresarial) y dirigirla hacia un contexto ambientalmente sostenible.

Junto a estas aproximaciones macroeconómicas e institucionales, es de destacar que desde la perspectiva puramente empresarial se ha venido consolidando en los últimos tiempos el concepto de *logística inversa*, que analiza el proceso de producción de manera integral, tratando de planificar y controlar de manera eficiente los flujos de productos en el proceso productivo con el propósito de la maximización de su valor (Srivastava, 2007). Y ello en la medida que el análisis del proceso productivo en su conjunto puede acarrear beneficios económicos y estratégicos (Blanco, 2010; Autry, 2005), no sólo a través del ahorro de costes mediante mejoras en la eficiencia, sino gracias a la percepción positiva por parte de los consumidores, con la consiguiente generación de ventajas competitivas (Alshamrani et al., 2007; Daugherty et al., 2005).

### **5. Efecto económico del tratamiento de lodos generados en la depuración de aguas residuales: de desecho a residuo aprovechable.**

No es nuestro objetivo centrarnos en la problemática de la valoración cuantitativa de los daños medioambientales (Aguilera y Alcántara, 2011), sino analizar el efecto económico que genera en el proceso de depuración de aguas residuales la valorización de los lodos, es decir, su reutilización y/o reciclaje con el fin de eliminar, o al menos disminuir, la externalidades negativas asociadas a su vertido.

El lodo, por defecto, es considerado como un desecho cuyo valor intrínseco es nulo y por lo tanto sólo genera gastos para la empresa. Sin embargo, la opción de reutilizar y/o reciclar el lodo obtenido de las depuradoras de aguas residuales, además de evitar y/o disminuir una externalidad negativa, hace que éste se convierta en un residuo aprovechable e incluso, siendo más ambiciosos, en un potencial “subproducto”, en virtud del valor añadido que generaría su posible valorización. El Plan General de Contabilidad (2008) considera residuo a todo aquel material obtenido “inevitablemente y al mismo tiempo que los productos o subproductos, siempre que tengan valor intrínseco y puedan ser utilizados o vendidos”, en cambio un subproducto es aquel que tiene “carácter secundario o accesorio a la fabricación principal”.



Gráfico 1: Gestión de los lodos obtenidos de un proceso de tratamiento de las aguas residuales

En este trabajo se propone considerar al proceso de tratamiento y reutilización de aguas como una actividad industrial de la cual se obtienen dos productos diferentes, agua depurada para verter al medio y agua regenerada para reutilizar, además de una serie de subproductos, todos con repercusiones medioambientales bien diferentes que es importante cuantificar por separado.

Una gestión económica óptima del proceso requiere obtener un coste aproximado para cada una de las fases en las que se podría dividir el proceso y para cada uno de los productos y subproductos identificados, de forma que se favorezca la toma de decisiones interna y nos permita especificar unos indicadores de gestión que guíen la buena marcha del proceso. En esta línea Moreno y Rico (2002) reflexionan sobre la conveniencia de utilizar, para las empresas de abastecimiento y saneamiento de aguas, un Sistema de Costes y Gestión basado en las Actividades en la medida en que de este modo, se tendría mucha más información acerca de todas las actividades que se desarrollan en la prestación del servicio y se podría buscar mejorar la eficiencia en el desempeño de este tipo de actividades. A grandes rasgos el Sistema de Costes y de Gestión basado en las Actividades considera que las actividades que se ejecutan en un determinado proceso productivo consumen recursos y a su vez los productos y/o servicios consumen actividades (Mallo y Merlo, 1995). Por lo tanto, es el volumen de estas actividades, no el de producción, lo que condiciona el consumo de recursos.

En un proceso genérico de tratamiento y reutilización de aguas residuales se desarrollan una serie de actividades, algunas principales y otras auxiliares. Las actividades principales son aquellas cuya ejecución resulta esencial para la consecución del objetivo de la empresa (pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario). Las actividades auxiliares son las que sirven de apoyo a las principales (tratamiento de lodos, del gas, cogeneración, desodorización, gestión de residuos, análisis y ensayos, bombeo y mantenimiento y conservación).



Con el fin de incorporar información cuantitativa en este trabajo se han utilizado los datos facilitados por la Estación de Depuradora de Aguas Residuales de Santa Cruz de Tenerife y se ha hecho una estimación de los costes asociados a cada una de las actividades principales y auxiliares (Ruiz-Rosa, 2009) para un caudal medio de 40.000 m<sup>3</sup> al día hasta un tratamiento secundario.

Tabla 2: Estimación de recursos económicos por actividad (euros)

Actividades Principales		Actividades Auxiliares	
Pretratamiento	152.323,21	Tratamiento de Lodos	271.369,73
Tratamiento Primario	219.186,96	Gestión de Residuos	250.342,91
Tratamiento Secundario	390.417,13	Análisis y Ensayos	49.664,89
Tratamiento Terciario	200.339,10	Gestión del Gas	28.521,50
Gestión Administrativa	70.110,04	Desodorización	120.779,52
		Cogeneración	28.326,50
		Mant. y Conservación	640.199,39
		Bombeo	394.860,19
<b>TOTAL</b>	<b>1.032.376,44</b>		<b>1.784.064,63</b>
			<b>2.816.441,07</b>

Se observa como las actividades “Tratamiento de Lodos” y “Gestión de Residuos” consumen una parte importante de los recursos utilizados en el proceso, aproximadamente un 30 % del coste total asociado a las actividades auxiliares. Esto se debe a que el tratamiento de las aguas residuales lleva aparejada la ejecución de una serie de tareas paralelas encaminadas a tratar los elementos contaminantes eliminados con el fin de atenuar cualquier posible daño medioambiental.

En cualquier sistema de costes el objetivo es centralizar todos ellos en las actividades principales, puesto que son las que participan directamente en la obtención del producto y/o servicio. Por lo tanto, el siguiente paso sería distribuir el coste asociado a las actividades auxiliares entre las principales, seleccionando para cada actividad principal las actividades auxiliares que le prestan algún tipo de servicio. Esta cesión de costes se medirá utilizando lo que se denominan portadores de la actividad (Álvarez-Dardet, 1993)

La reutilización y/o reciclaje del lodo obtenido exige, desde un punto de vista contable, el tratamiento de los costes asociados a la obtención de este residuo como una actividad principal, lo cual genera una serie de modificaciones en su tratamiento contable.

En tabla 3 hemos incluido dos simulaciones para estos dos escenarios posibles. En la Simulación 1 la actividad “Tratamiento de Lodos” es auxiliar y en la Simulación 2 se convierte en principal. En esta segunda alternativa la actividad Tratamiento de Lodos no sólo recibe los costes directos asociados al tratamiento de lodos sino los recogidos en otras actividades auxiliares relacionadas con ella, como son; Gestión del Gas, Cogeneración, Desodorización, Gestión de Residuos, Análisis y Ensayos, Bombeo, Mantenimiento y Conservación.

Tabla 3: Análisis comparativo de la consideración de la actividad “Tratamiento de Lodos” como auxiliar o como principal

ACTIVIDADES PRINCIPALES	Simulación 1	Simulación 2
Pretratamiento	497.711,68	467,711,68
Tratamiento Primario	701.565,85	302.335,47
Tratamiento Secundario	1.256.286,57	514.858,71
Tratamiento de Lodos	-	1.140.658,24
<b>TOTAL</b>	<b>2.455.564,1</b>	<b>2.455.564,1</b>

Observamos a raíz de los resultados mostrados en el cuadro anterior cómo el coste total no varía al no haber modificaciones en lo que respecta al importe de los costes y del caudal a tratar. Del mismo modo el coste asociado a la actividad Pretratamiento también es el mismo en los dos casos puesto que en esta fase no se generan lodos, sólo utilizan el *Tratamiento de Lodos* las actividades de Tratamiento Primario y Tratamiento Secundario puesto que es en estas dos donde se genera este tipo de deshecho.

Mientras que en la Simulación 1 no conocemos el coste específico de la generación de lodos, en la Simulación 2 disponemos de información concreta del coste, tanto en su aspecto económico como técnico, asociado al Tratamiento de Lodos, lo que permitirá una gestión más eficiente de esta actividad.

El total de lodo bruto generado, teniendo en cuenta el caudal que hemos utilizado para hacer los cálculos, sería de 8.760.000 kg al año, de los cuales 3.066.000 kg (3.066 Tm) corresponderían al Tratamiento Primario y 5.694.000 kg (5.694 Tm) al Secundario. A su vez el lodo bruto es sometido a un proceso de secado por medio del cual se consigue eliminar un 30% del líquido que contiene, esto significa que de cada 0,60 kg/m<sup>3</sup> de lodo bruto se obtienen 0,42 kg/m<sup>3</sup> de lodo deshidratado. Suponiendo un total de lodo bruto generado al año de 8.760.000 kg, el resultado del proceso de secado nos daría un total de 6.132.000 kg (6.132 Tm) de este residuo.

Utilizando los datos relacionados con el coste de Tratamiento de Lodos, obtenidos de la Simulación 2, y teniendo en cuenta las cantidades de lodo seco según el párrafo anterior podemos calcular el coste unitario de cada kilogramo de lodo obtenido según figura en la tabla siguiente.

Tabla 4. Coste unitario por kilogramo de lodo seco obtenido

Tratamiento de lodo (euros)	1.140.658,24
Kilogramos de lodo seco obtenido	6.132.000
Coste unitario por kilogramo de lodo seco obtenido	0,18 €/kilogramo

Con el fin de obtener un valor más exacto habría que añadir el coste del tratamiento posterior al que se debe someter el lodo una vez seco, según el aprovechamiento que se le quiera dar. La gran aportación de este enfoque es la consideración del lodo como residuo que puede ser objeto de negocio y al que se le puede calcular un coste de obtención.

## 6. Conclusiones

En el presente trabajo, partiendo de la cada vez más estricta normativa medioambiental referida al tratamiento de los residuos derivados de los procesos de tratamiento de las aguas residuales urbanas y a la aparición del Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, que regula la reutilización de las aguas regeneradas (aguas tratadas para ser reutilizadas), se ha tratado de contextualizar la importancia que suponen los lodos derivados de dichos procesos de tratamiento.

A través de un trabajo de simulación de costes con datos reales provenientes de una estación depuradora de aguas residuales y entendiendo el proceso de tratamiento y reutilización de aguas como una actividad industrial de la cual se obtienen dos productos diferentes, agua depurada y agua regenerada, así como una serie de subproductos, se ha cuantificado la importante repercusión económica de los lodos.

Por ello, se pone de manifiesto la importancia de adoptar una perspectiva económica y empresarial integral del proceso, apuntándose que la opción de reutilizar y/o reciclar el lodo obtenido de las depuradoras de aguas residuales, además de evitar y/o disminuir una externalidad negativa, hace que éste se convierta en un residuo aprovechable e incluso en un potencial “subproducto”, en virtud del valor añadido que generaría su posible valorización.

## Referencias

- Aguilera Klink, F. y Alcántara, V. (1994): De la economía ambiental a la economía ecológica. Icaria. Barcelona
- Aguilera Klink, F., Brito Hernández, A., Castilla Gutiérrez, C., Díaz Hernández, A., Fernández Palacios, J.M., Rodríguez Rodríguez, A., Sabaté Bel, F. y Sánchez García, J. (1994): “Canarias. Economía, Ecología y Medio Ambiente”. F Lemus, La Laguna.
- Alvarez-Dardet Espejo, C. (1993): *Análisis estratégico del coste: Estudio de un caso*. Editado por el Instituto de Contabilidad y Auditoría de Cuentas, Madrid.
- Alshamrani, A., Mathur, K. & Ballou, R. (2007). Reverse logistics: simultaneous design of delivery routes and returns strategies. *Computers & Operations Research* 34 2007 595–
- Autry, Ch. (2005). Formalization of reverse logistics programs: A strategy for managing liberalized returns. *Industrial Marketing Management* 34 2005 749–757
- Blanco, E. (2010). Las organizaciones están empezando a escuchar ideas innovadoras en sus cadenas de suministro, y eso es consecuencia de mirar a través de la lente de la sostenibilidad. *Harvard Deusto Business Review*. Octubre 2010, N°194, pp. 4-9
- Bromley, D. W. (1978): “Property Rules, Liability Rules and Environmental Economics”. *Journal of Economic Issues*, Vol IX, nº 1.
- Bromley, D. W. (1985): “Recursos y desarrollo económico: un enfoque institucionalista”. *Agricultura y sociedad*, nº 35.
- Coase, R. H. (1960): “El problema del coste social”. *Hacienda Pública Española*, nº 68.
- Daugherty, P., Richey R., Genchev, S. & Chen, H. (2005). Reverse logistics: superior performance through focused resource commitments to information technology. *Transportation Research Part E* 41, 2005, pp. 77–92
- Davidson, P. (1984): “Recursos naturales”. En *Economía Postkeynesiana*, A. Eichner (compilador). Editorial Blume, Barcelona.
- Directiva Comunitaria 91/271/CEE, del Consejo, de 21 de mayo de 1991 (DOCE nº 135), sobre el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas.
- Kapp, K. W. (1966): “Los costes sociales de la empresa privada”. *Oikos – Tau*, Barcelona.
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. *Boletín Oficial del Estado*, número 96, de 22 de abril de 1998
- Mallo Rodríguez, C. y Merlo Bataller, J. (1995): *Control de Gestión y Control Presupuestario*. Editado por McGraw-Hill, Madrid.
- Mishan, E. J. (1971): “The postwar literature on externalities: an interpretative essay” *Journal of economic literature*, Vol XII, nº 1.
- Moreno Campos, I. y Rico Iglesias, J.M. (2002): “Hacia una mayor transparencia de la información sobre el servicio de abastecimiento de agua”, trabajo presentado en el *X Encuentro de Profesores Universitarios de Contabilidad (ASEPUC)*, celebrado en Santiago de Compostela del 30 de mayo al 1 de junio de 2002.
- Naredo, J. M. (1996): “La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico”. Siglo XXI, Madrid.

Orden de 26 de octubre de 1993 sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario. BOE núm. 265, Directiva Comunitaria 2000/76/CE, relativa a la incineración de residuos

Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. BOE núm. 43, de 19 de febrero 2002

Pigou, A. C. (1920): “The economics of Welfare”. Macmillan, London. Versión en castellano: Aguilar, Madrid, 1946.

Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario. BOE núm. 262, de 1 de noviembre de 1990.

Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. BOE núm. 25, de 29 de enero de 2002

Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. BOE núm. 294, de 8 de diciembre de 2007

Resolución de 14 de junio de 2001, de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que publica el Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales 2001-2006. BOE núm. 166, de 12 de julio de 2001

Resolución de 20 de enero de 2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba el Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015. BOE núm. 49, de 26 de febrero de 2009

Resolución de 28 de abril de 1995, de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Vivienda, por el que se aprueba el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales (1995 – 2005). BOE núm. 113, de 12 de mayo de 1995

Solow, R. M. (1974): “La economía de los recursos o los recursos de la economía”. Trimestre económico, nº 166.

Srivastava, S. (2007). Network design for reverse logistics. Omega, doi: 10.1016/j.omega.2006.11.012



CHAPTER/  
CAPÍTULO  
14

NATURAL HAZARDS & CLIMATE CHANGE  
RIESGOS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Santamarta Juan C., Hernández-Gutiérrez L.E. & Arraiza Bermúdez-  
Cañete M<sup>a</sup>. Paz (Ed.)



Colegio de Ingenieros  
de Montes (Ed.)

ISBN 978-84-617-1060-7

## Simple Geospatial Data Collecting Methods for Environment Change

Tamás Bazsó <sup>a</sup>, Péter Primusz <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Surveying and Remote Sensing, Institute of Geomatics and Civil Engineering, Faculty of Forestry, University of West Hungary, Hungary, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky str. 4

---

### Abstract

Nowadays there are many possibilities to collect data from our environment. The remote sensing is frequently used effective data collecting method, but some case the only way is the field work. In forest area there are some field, where we have to use the surveying method. With simple digital instruments the working hours could be reduced, besides the accuracy is good enough. Due to this reason we examined the TruPulse 360B laser rangefinder device. We established a test field with surveying accuracy for the test measurements, where we can examine many kind of surveying methods. We found that the required accuracy can be achieved applying appropriate measuring mode and processing method.. Therefore we can apply this instrument for engineer project.

© 2014 The Authors. Published by Colegio de Ingenieros de Montes <http://www.ingenierosdemontes.org>

*Peer reviewed*

*Keywords; mapping, simple surveying methods, magnetic azimuth*

---

\* Corresponding author: Tamás Bazsó. Tel.: +36-99-518-127

*E-mail address:* bazso.tamas@emk.nyme

---

## 1. Objectives

In the last century the Wild T0 compass theodolite was the standard instrument of forest mapping and inventory in Hungary. Nowadays this instrument is almost disappeared from the forestry surveying. Instead of theodolite we use GNSS instruments, which are easy to use even for not professionals.

Data management is much faster with this instrument because of its compatibility with GIS software, but sometimes its accuracy is not so good as in the case of theodolite. In these days we can find digital surveying instruments, which can be operated by simple methods. The accuracy and efficiency of these instruments are suitable for today's engineers, and the processing of the data can be supported by geoinformatics.

We examined the accuracy and effectiveness of the instrument, TruPulse 360B by test measurements. This instrument is a possible alternative of Wild T0, because we also can measure magnetic horizontal angle with it.

## 2. Material and Methods

Our research is based on simple hand-held laser rangefinder, called TruPulse 360B (Figure 1). The TruPulse laser rangefinder is made and developed by the Laser Technology Inc. in the United States. This instrument has an integrated compass that allows you to measure magnetic azimuth. You can also measure slope distance, inclination and calculate horizontal and vertical distance with it.

Specification:

- Size: 12 × 5 × 9 cm
- Weight: 285 g
- Max. range: 1000 m (non-reflective targets) 2000 m (reflective targets)
- Inclination:  $\pm 90^\circ$
- Angle range:  $0^\circ - 359,9^\circ$
- Data output: Bluetooth, RS232

Accuracy:

- Distance: between 0 and 100 m:  $\pm 10$  cm, above:  $\pm 30$  cm
- Inclination:  $\pm 0,25^\circ$
- Azimuth:  $\pm 1,00^\circ$



Figure 1 The TruPulse 360B

We also used the MapStar Compass Module II-t (MSCM II)(Figure 2), what is a high resolution digital magneto-resistive compass with high accuracy. This is a very reliable modul, with automatical temperature and level calibration. The calibration procedure in the field is quite fast. We can use his module with just the TruPuse 200 series.

Specification:

- Size: 31 x 5 x 3 cm
- Weight: 570g
- Accuracy: +/- 0,3°
- Data range: 0-359,99°
- Data resolution: 0,01°
- Data output: RS232
- Data: NMEA 0183



Figure 2 The MapStar Compass Module II and TruPulse 360B

To investigate the measurements we set a reference traverse in the botanical garden of the University of West Hungary. We used for this measuring a total station. The traverse lined in an asphalt road and we fixed the traverse points with Hilti pegs (Figure 3). The total length of the traverse is 401,81 meter and the longest traverse side is 65,09 meter.

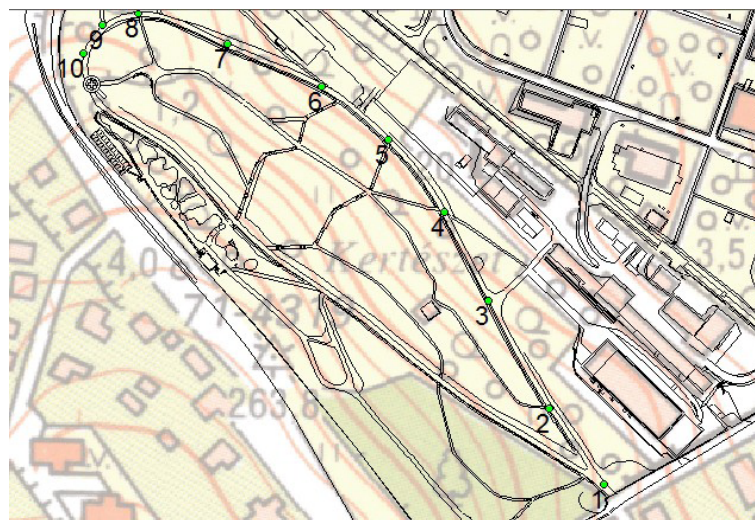


Figure 3. Map of the reference traverse



The comparable of the total station and the TruPulse measuring data we have to reduce the errors. For that reason we used tripod and tribach and we just change the instruments.

We also examined the accuracy when we used monopod for the instruments and tripod for the prism, and inversely monopod for the prism and tripod for the TruPulse.

### 3. Results

#### 3.1 Adjustment of the traverse

When measuring traverses with total station we have calculated the interior angles, afterwards initial magnetic azimuth then the final magnetic azimuth was determined. Next step was to divide the linear error of closure resulting from a 2 cm error in x and y directions by the length of traverse. We have considered the coordinates measured with total station accurate when performing comparisons.

Compass traverse as close traverse can be adjusted in graphical and numerical ways. In the past, in surveying adjustment with graphical way was preferred. Nowadays applying the numerical way is not a problem anymore. We have also used numerical calculation during our research. Data measured with TP360B distance measuring device was adjusted with conventional calculation method. We have calculated interior angle from the measured magnetic azimuths at the traverse, then linear error was calculated after interior angle and final azimuth. Measurement accuracy was compared to the accuracy of a generic GIS GNSS instrument and considered the calculated coordinates as accurate when the maximum deviance was below 3 meters. Measurements show that the maximum deviance was significant (15 meters) compared to the measures done at total stations (refer to table below). Based on the error it was concluded that there are differences between the bearings determined for the same reference point when performing the measurements several times. For the checking the measured bearings measurement results of foresight and backwards measurements were used according the the following formula:

As a result of check calculations done based on the measurement data of foresight and backwards measurements there were deviations of  $2,5^{\circ}$ - $3,5^{\circ}$  among the calculated bearings. This error is greater than the accuracy of TruPulse 360B ( $\pm 1^{\circ}$ , ie maximum  $2^{\circ}$  deviation), hence the remaining error is the result of the distribution of the measures and setting the directions. The accuracy of setting the directions is largely influenced by the crosshair setting in case of TruPulse devise. Based on our research it is not worth measuring traverses with TruPulse devise. On the other hand distance measurement with TruPulse devise is satisfactory, hence we used a different digital compass for measuring traverse. Application of MapStar Compass Module II brought good results in calculating interior angle (refer to table 1).

Table 1. Linear error to closure, calculated with interior angle

AP	Total Station		TP360B	MSCM II
	EOV Y	EOV X		(m)
1	464443,4	262312,4	0,0	0,0
2	464414,8	262352,4	7,5	0,3
3	464382,9	262409,1	13,5	0,7
4	464359,2	262456,3	15,8	1,3
5	464330,2	262494,2	16,0	1,4
6	464294,6	262522,6	13,7	0,9
7	464245,4	262545,1	8,5	0,8
8	464198,4	262561,5	4,7	0,2
9	464179,7	262555,4	3,1	0,1
10	464169,7	262540,5	0,0	0,0

In case of close traverse it is not possible to calculate horizontal angle error of closure (Bácsatyai, 2002). Measured angles need to be modified with a magnetic constant (determined from the error of scale of the device and the variations in declination) before adjustment. In case of digital measuring devices the error of scale is not applicable because the device manufacturers define an accuracy threshold. The solution is an adjustment method with which the angle is modified in a way that it would contain the impact of the declination from the magnetic north and the inaccuracy of the angle measurement. The adjustment of the close traverse is resulted from the relation of the lines between the known starting (K) and ending (V) points and the known starting and measured ending points. The angle of the two lines determines the total inaccuracy of the angle measurement and the declination from the magnetic north. The difference between the lengths of the lines determines the linear error of the closure (figure 4).

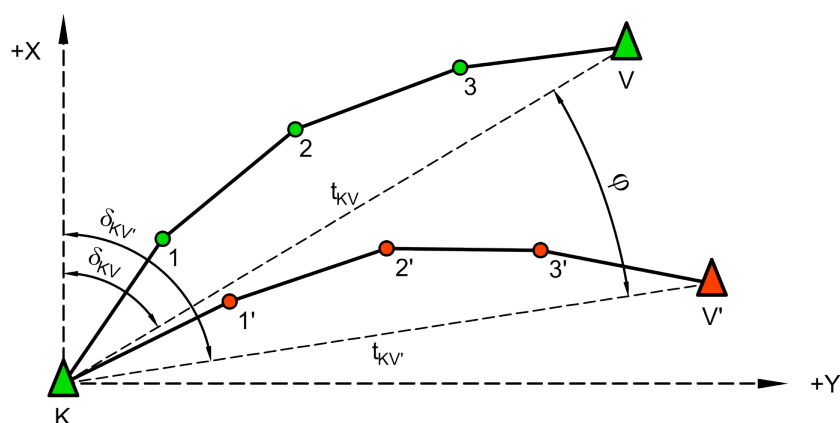


Figure 4. Adjustment of close traverse

In our case the method was used in a way that instead of interior angle we have adjusted the magnetic azimuth with the angle deviation ( $\phi$ ), then the linear error of the closure in the directions x and y was adjusted in proportion with the lengths of the traverse sides. Based on the test results it turned out that the measurement error is not coming from the measurement of the distance, hence this step was skipped from the calculation. In essence we have combined the compass and the conventional numeric adjustment steps as we consider the length deviations of the compass traverse in an aggregate way as we move further from the starting point. This method is referred to as simplified adjustment method.

### 3.2 Leave-one-out traversing

As an advantage of compass traverse, we only need to set up the device in every second point because the magnetic needle needs to be aligned with a specific direction, which is the magnetic north. Due to the fact that every second reference point is skipped the method was named as leave-one-out method. (Bácsatyai, 2002).

During our research we have used the devices fixed on monopod with spirit level and also placed on tripod (refer to table 2).

Table 2. Coordinate errors, in leave-one-out traversing

Measuring method	Conventional adjustment		Simplified adjustment	
	$\Delta y$	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta x$
Tripod				
WILD T0	2,1	3,7	-0,5	0,4
TP360B	-2,5	-3,3	0,2	-0,1
Monopod				
MSCM II	4,0	6,3	-0,7	0,6
TP360B	-4,3	-4,3	-0,4	0,3

With regards to the average deviation of the measured coordinates the measurement accuracy of TP360B approximates the measurement accuracy of WILD T0 even when the conventional adjustment method is used. Traverse measured with MSCM II proved to be more accurate. We have summarized in table 3 and 4 the deviances calculated at the different reference points based on the measurements of the different devices.

Table 3. Conventional adjustment method, in leave-one-out traversing

ID	WILD T0	TP360B	MSCM II	
	Tripod		Monopod	
	(m)			
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,1	1,4	1,1	1,0
3	0,6	1,2	2,1	0,9
4	1,7	1,3	1,8	1,6
5	2,5	1,9	3,4	2,0
6	2,4	1,3	1,9	1,5
7	1,9	1,6	2,6	1,5
8	0,6	1,3	0,4	0,3
9	0,0	1,4	0,2	0,1
10	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Standard deviation</b>	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	<b>0,9</b>

Table 4. Simplified adjustment method, in leave-one-out traversing

ID	WILD T0	TP360B	MSCM II	
	Tripod		Monopod	
	(m)			
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,2	1,3	0,9	0,8
3	1,3	1,0	1,7	0,7
4	1,6	0,9	0,4	0,4
5	2,0	0,5	1,7	0,8
6	2,2	1,5	0,3	0,9
7	2,4	0,8	1,6	0,8
8	0,5	0,9	0,3	0,6
9	0,2	1,4	0,1	1,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Standard deviation</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>

The difference between the 2 types of adjustment methods is clearly visible. The traverse calculated with the simplified numeric method approximates reality better.

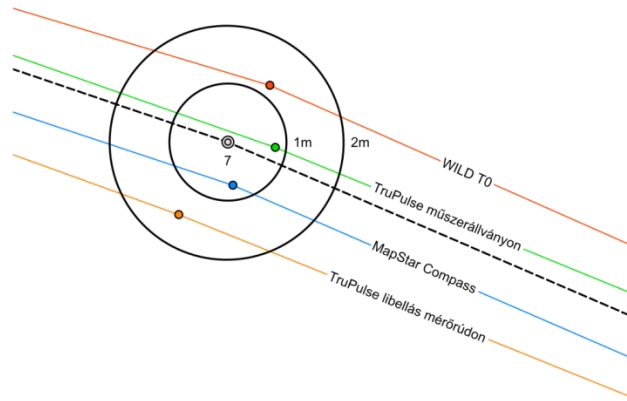


Figure 5. Maximal difference, with simplified adjustment method and leave-one-out traversing (Németh, 2013)

When applying conventional adjustment method the results are within a circle with radius of 1.5 meter but using simplified adjustment method the same measurement points fall within a circle with radius of 1 meter (figure 5). Changing the method of calculation, the deviances of the measured coordinates have not significantly changed.

### 3.3 Traverse with foresight measuring

We have investigated the method when only foresight measuring was used. We have made several measurements when the TruPulse 360B device was put on the monopod with spirit level. With this investigation we wanted to understand how the measurement accuracy is influenced by the fact that the device is not placed on the tripod. Results show that the accuracy of the measures using TruePulse 360B fixed on a monopod is not behind the accuracy of measures made using tripod (refer to table 5).

Table 5. Simplified adjustment method with foresight measuring

ID	TP 360B					MSCM II	
	Tripod	Monopod					
		(m)					
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,8	0,8
3	1,3	0,6	0,5	0,6	0,9	0,6	0,8
4	1,6	0,8	0,7	0,6	0,8	0,7	1,1
5	2,0	1,1	0,9	0,7	1,0	0,9	1,4
6	2,2	1,0	0,8	0,8	1,0	0,9	1,7
7	2,4	0,9	0,8	0,8	1,0	0,7	1,7
8	0,5	0,8	0,8	0,9	1,0	0,7	1,6
9	0,2	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	1,5
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Standard deviation</b>	<b>1,0</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>	<b>1,1</b>

#### 4. Summary

Based on comparative series of measurements it is not recommended to measure interior angles by the TruPulse measuring instrument due to the deviations resulted from the inaccuracy of this instrument. In case we want to measure interior angles, it is better to use MapStar Compass Module II which is capable of measuring magnetic azimuth with 0.01° accuracy. The traverse calculated with the simplified numeric method approximates reality better. When applying conventional adjustment method the results are within a circle with radius of 1.5 meter but using simplified adjustment method the same measurement points fall within a circle with radius of 1 meter.

In case of leave-one-out traversing, the average of the deviation of the coordinates calculated by TruPulse approximates the measurement accuracy of WILD T0 even if conventional adjustment method is used. Traverse determination with series of foresight measurement has more even distribution than using leave-one-out traversing, hence it is suggested to define traverse with foresight measurement. Using this latter measurement method, time can be saved, as the person performing the measurement can progress along with the assistant and the assistant does not need to go back and forth which would be required in case of the traditional method for measuring interior angles. TruPulse can be fixed on a monopod with spirit level and also on a tripod. Based on experience accuracy of the measures using the monopod is not behind the accuracy of measures made using tripod.

On flat terrain measures prove that 15 minute is sufficient to survey a traverse of 400 meter with 10 traverse points. Based on the results of the field measurements, coordinates are taken with 1,5-2 meters accuracy using TruPulse device. This is more accurate than the coordinates measured by GPS in the forest. The average hand-held GPS guarantees accuracy of 3 meters with good satellite communication, and it is difficult to ensure good satellite communication in the forest, even outside vegetation period. Measurements with WILD T0 device are popular with forest engineers, but modern electronic surveying devices provide opportunity for easier measurements keeping accuracy of WILD T0.

### References

- Bácsatyai, L. (2002): Surveying [Geodézia]. University of Sopron, Sopron (in Hungarian)
- Király, L. (1985): Forest management I [Erdőrendezés I]. University of Forestry and Wood Technology, Sopron (in Hungarian)
- Németh, M. (2011): The TruPulse 360B laser rangefinder, like a compass theodolite [TruPulse 360B lézeres távolságmérő, mint busszola-teodolit], University of West Hungary, Sopron (in Hungarian).
- Németh, M. (2013): Application of TruPulse 360B laser rangefinder for forestry and mapping [TruPulse 360B lézeres távolságmérő alkalmazhatósága erdészeti térképezési feladatokra], University of West Hungary, Sopron (in Hungarian).
- Tarsoly, P. (2009): Surveying II [Geodézia II], University of West Hungary, Székesfehérvár (in Hungarian)
- TruPulse Manual (2009). Laser Technology Inc.



CHAPTER/  
CAPÍTULO  
15

NATURAL HAZARDS & CLIMATE CHANGE  
RIESGOS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Santamarta Juan C., Hernández-Gutiérrez L.E. & Arraiza Bermúdez-  
Cañete M<sup>a</sup>. Paz (Ed.)



Colegio de Ingenieros  
de Montes (Ed.)

ISBN 978-84-617-1060-7

## La lucha contra el cambio climático en el Derecho español: el ejemplo de la legislación de costas

Luis Javier Capote Pérez <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Área de Derecho Civil. Departamento de Disciplinas Jurídicas Básicas. Universidad de La Laguna

---

### Abstract

La defensa del medio ambiente constituye uno de los principios rectores contenidos en la Constitución Española de 1978. Sobre la base de este mandato contenido en la vigente carta magna, el legislador ha elaborado diversas normas jurídicas cuya finalidad consiste en dar una respuesta concreta a la exigencia constitucional. Una de las preocupaciones más recientes en materia medioambiental ha sido la relativa a los efectos del cambio climático, motivo por el cual el legislador ha introducido el estudio de esta problemática en normas relativamente recientes, como la reciente reforma de la Ley de Costas.

© 2014 The Authors. Published by Colegio de Ingenieros de Montes <http://www.ingenierosdemontes.org>

*Peer reviewed*

*Keywords; Propiedad, costas, dominio público, función social de la propiedad, cambio climático, legislación, Derecho civil, Derecho administrativo*

---

---

\* Corresponding author name. Tel.: +34 922 31 74 19

E-mail address: [lcapote@ull.es](mailto:lcapote@ull.es)

Trabajo realizado en el marco del proyecto DER2011-23321. El Registro de la Propiedad como instrumento vertebrador de la información territorial; datos espaciales, metadatos y Directiva INSPIRE (II)

---



## 1. Introducción

### 1.1 Aspectos generales

La preocupación medioambiental contenida en el ordenamiento jurídico español tiene su punto de partida en la propia Constitución Española de 1978, cuyo artículo 45 dispone que 1. Todos tienen el derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona, así como el deber de conservarlo. 2. Los poderes públicos velarán por la utilización racional de todos los recursos naturales, con el fin de proteger y mejorar la calidad de la vida y defender y restaurar el medio ambiente, apoyándose en la indispensable solidaridad colectiva. 3. Para quienes violen lo dispuesto en el apartado anterior, en los términos que la ley fije se establecerán sanciones penales o, en su caso, administrativas, así como la obligación de reparar el daño causado. Este precepto, incardinado sistemáticamente dentro de los principios rectores de la política social y economía del Estado, reconoce el derecho a un medio ambiente adecuado, pero impone tanto a la ciudadanía (titular del mismo) y a los poderes públicos (guardianes del mismo) el deber de protegerlo, defenderlo y restaurarlo. La carta magna introduce una expresión –medio ambiente adecuado– que requiere del concurso de otras ramas del conocimiento para poder obtener plena significación. De la misma forma, el triple mandato de protección, defensa y restauración se concreta en la necesidad de efectuar actuaciones diferentes en función del territorio, sus características o su situación. Así pues, aunque el problema de la influencia de la humanidad en el cambio climático sea una preocupación reciente, la amplitud conceptual del texto de 1978 permite, una vez contrastada la realidad de la situación, incluir la lucha contra los efectos del mismo dentro del mandato constitucional.

Sobre la base del precepto constitucional citado en el párrafo anterior, los poderes públicos han de afrontar una tarea cuyos concretos aspectos vienen definidos extramuros del mundo jurídico. Un ejemplo concreto se puede encontrar en la asunción de medidas para hacer frente a los efectos del cambio climático en el medio ambiente. Una vez alcanzado cierto consenso en el plano científico en lo relativo a la existencia de causas antropogénicas en la modificación del clima, la expresión en cuestión ha empezado a aparecer en la forma de Derecho positivo. Un ejemplo muy reciente se encuentra en la reforma de 2013 de la legislación reguladora del litoral costero.

### 1.2 Propiedad privada y dominio público

Antes de abordar la concreta cuestión que ha sido escogida como ejemplo de la actuación legislativa en la lucha contra los efectos del cambio climático, es menester traer a colación dos conceptos jurídicos relacionados entre sí y esenciales para comprender el funcionamiento de los mecanismos limitadores establecidos a través del Derecho. A través de los mismos se puede

llegar a conocer parcialmente cómo se puede hacer valer el mandato constitucional de proteger el medio ambiente. Tales conceptos son los de propiedad privada y dominio público.

#### a) Propiedad privada

El derecho de propiedad aparece tratado en el artículo 348 del Código Civil como el derecho de gozar y disponer de una cosa, sin más limitaciones que las establecidas en las leyes. Junto a este precepto es necesario colocar el contenido en el artículo 33 de la Constitución Española, que reconoce el derecho subjetivo a la propiedad privada, pero añade un detalle fundamental a la hora de tratar su contenido y límites: la llamada “función social de la propiedad”. Así como el texto codificado decimonónico establece la frontera de las facultades dominicales en las leyes, la norma constitucional vincula esa limitación a un parámetro que debe entenderse como el interés general de la colectividad. Sólo por vía de ley, añade el artículo 53 de la Constitución Española, pueden los poderes públicos limitar este derecho subjetivo. Ahora bien, esta delimitación general plantea la existencia de un concepto compuesto por múltiples facetas, pues la función social entendida en los términos establecidos varía en función del concreto derecho de propiedad de que se trate. En la medida en que las múltiples restricciones al contenido dominical vienen establecidas por leyes sectoriales en el ámbito del Derecho Administrativo, no es extraño que se plantee la hipótesis de que no estamos en la práctica ante un único derecho de propiedad sino ante una pluralidad de derechos subjetivos de naturaleza dominical, cada uno de los cuales viene definido por el contenido delimitado legalmente y bajo el prisma de la llamada función social. Así, y a título de ejemplo, podemos encontrar ejemplos específicos de esta situación en los siguientes bienes:

- Los inmuebles urbanos, a través de la legislación y los planes urbanísticos
- Los inmuebles colindantes con montes de titularidad pública, a través de la legislación específica de la materia
- Los muebles e inmuebles de valor e interés culturales, a través de la legislación específica en materia de patrimonio histórico-artístico
- Los inmuebles que limitan con el litoral y con la zona de dominio público marítimo-terrestre, a través de la legislación en materia de costas (de la que se hablará un poco más adelante)
- Los inmuebles dotados de interés paisajístico, ecológico o medioambiental, a través de la legislación estatal y autonómica aplicable a la materia.

El denominador común de los derechos subjetivos de naturaleza dominical cuyo objeto es alguna de las cosas enumeradas en el párrafo anterior es que la propia naturaleza de los mismos y su especial significación sientan las bases de delimitaciones específicas provenientes del ámbito del Derecho público. De esta forma, cada propietario de cada uno de estos bienes verá que las posibilidades de “gozar y disponer” –por seguir utilizando la terminología del Código Civil- tienen una extensión diferente en función del objeto del derecho y de las disposiciones contenidas en la ley aplicable. En la medida en que el interés general incluye un derecho a un adecuado medio ambiente y que la protección del mismo es un deber tanto para la ciudadanía como para los poderes públicos, cabe la posibilidad de que la lucha contra los efectos del cambio climático se pueda incorporar en la forma de medidas concretas que limiten el contenido de determinados derechos subjetivos. Dicho de otra forma, la batalla por paliar los efectos de la influencia humana sobre la modificación del clima puede conformar un aspecto concreto de la protección medioambiental como parte de la función social del dominio.

#### b) Dominio público

El concepto de dominio público hace referencia a aquellos bienes que, siendo de titularidad pública, están afectados a un uso público, a un servicio público o al fomento de la riqueza nacional, tal y como establece el artículo 339 del Código Civil. El régimen de estos bienes está regulado en la Ley 33 / 2003, de 3 de noviembre, de Patrimonio de las Administraciones Públicas, y otorga a los mismos por su especial naturaleza jurídica una especial protección, justificada precisamente por su destino ya mencionado de uso y servicios públicos. Es la afectación de esos bienes a esos fines lo que les otorga el especial estatus demanial. Este desarrollo legal proviene del mandato contenido en el artículo 132.1 de la Constitución Española, que dispone que la ley regulará el régimen jurídico de los bienes de dominio público y de los comunales, inspirándose en los principios de inalienabilidad, imprescriptibilidad e inembargabilidad, así como su desafectación. Sobre la base de esta regulación determinados bienes quedan sustraídos del ámbito del dominio privado, para someterse a una titularidad pública basada, nuevamente, en un interés general establecido tanto a nivel constitucional como legal. Dentro de esa categoría se encuentran, como se verá un poco más adelante, los bienes que integran el litoral costero.

### 1.3 Protección medioambiental en el ordenamiento jurídico español

Una vez mencionado el mandato contenido en el ya citado artículo 45 de la Constitución Española, es necesario también apuntar la presencia de otras normas que, sobre la base de la anterior, desarrollan el principio general de protección medioambiental en el ámbito del ordenamiento jurídico español. Así, podemos encontrar en el ámbito del Derecho Internacional multitud de tratados y convenios interestatales donde se plasma la necesidad de otorgar a determinados territorios una protección especial. Por ejemplo, la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural, de 23 de noviembre de 1972 (en vigor en España desde el 4 de agosto de 1982), menciona claramente esa ineludible defensa en sus considerandos

iniciales. Además, aporta una definición de lo que da en denominar “patrimonio natural” en su artículo 2, conceptuándolo como una categoría que engloba los monumentos naturales constituidos por formaciones físicas y biológicas o por grupos de esas formaciones que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista estético o científico; las formaciones geológicas y fisiográficas y las zonas estrictamente delimitadas que constituyan el hábitat de especies animal y vegetal amenazadas, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista estético o científico; los lugares naturales o las zonas naturales estrictamente delimitadas, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la ciencia, de la conservación o de la belleza natural. La convención establece respecto de esta categoría de patrimonio una triple obligación para los Estados firmantes: de identificación y delimitación; de protección y conservación y de rehabilitación.

Si avanzamos al ámbito del Derecho interno, podemos encontrar la Ley 42 / 2007, de 14 de diciembre, del patrimonio natural y de la biodiversidad. En su preámbulo se habla de la necesidad de proteger y conservar la riqueza albergada en los conceptos definitorios del texto legal, mencionando específicamente la cuestión del cambio climático e invocando el mandato constitucional varias veces mentado a lo largo del presente texto. A través de esta norma sectorial, el legislador estatal asume la necesidad de concretar la protección del medioambiente, especificando a su vez ese concepto genérico y planteando consecuentemente diversas líneas de actuación para frenar el deterioro y, en la medida de lo posible, revertir los efectos del mismo. Sin embargo, fuera de este ámbito concreto podemos encontrar un ámbito territorial en el que la acción humana se ha traducido en una grave pérdida de la riqueza y el patrimonio naturales: las costas

## 2. Las costas en el Derecho español

España, como recuerda la exposición de motivos de la Ley 22 / 1988, de 28 de julio, de Costas, tiene una gran longitud de costa, aproximadamente 7.880 kilómetros, de los que el 24 por 100 corresponden a playas. Este patrimonio inmobiliario, sin embargo, se encuentra gravemente deteriorado como consecuencia de la acción humana, la cual se ha hecho mucho más agresiva en los últimos tiempos. Si bien es cierto que la explotación de los recursos de la zona marítimo-terrestre es tan antigua como la propia civilización, el desarrollo urbanístico vinculado al auge turístico aumentó el nivel de exigencia sobre esa franja del territorio hasta un punto donde las posibilidades de recuperación han caído en picado. Por otra parte, una de las consecuencias del cambio climático es el aumento del nivel de los mares, con graves implicaciones en los hábitats costeros. Si el agua del mar penetra en zonas cada vez más alejadas de la línea de costa los resultados negativos en el territorio y sus recursos serán inevitables. En consecuencia, no es arriesgado concluir que la protección medioambiental del litoral pasa por la lucha contra los efectos de la variación del clima y por la recuperación de aquél.

La condición demanial del litoral costero proviene del ámbito del Derecho histórico. Así, en el Derecho Romano daba la condición de bien común a la ribera del mar, extendiendo el llamado *litus maris* hasta donde alcanzara el límite máximo de las aguas marinas. Por su parte, las Partidas de Alfonso X mantuvieron el criterio de que la superficie cubierta por el mar en sus mayores crecidas anuales era de titularidad comunal. Por su parte, la Ley de Aguas de 1866 hace referencia a las playas como objeto ya de dominio público y actualiza el criterio anterior al indicar que forma parte del demanio la extensión hasta donde alcanzan las más altas mareas equinocciales y donde éstas no fueran sensibles, hasta donde llegan las tormentas y temporales ordinarios. Igualmente, el artículo 339 del Código Civil incluye dentro de los bienes de dominio público las riberas, playas, radas y otros análogos.

La Ley 28 / 1969, de 26 de abril, de Costas, aborda ya la regulación del litoral en pleno desarrollo urbanístico del mismo, y plantea una normativa de carácter más detallado desde el punto de vista conceptual, pero será la citada Ley de 1988 la que plantee una regulación mucho más ambiciosa cuyo objetivo último es la recuperación de un territorio seriamente afectado por una alta densidad poblacional y por los efectos de la misma.

Si volvemos momentáneamente a la Constitución Española de 1978, veremos que su artículo 132.2 menciona específicamente al litoral dentro de los bienes englobados en el concepto de dominio público. Así, dice el precepto en cuestión que son bienes de dominio público estatal los que determine la ley y, en todo caso, la zona marítimo-terrestre, las playas, el mar territorial y los recursos naturales de la zona económica y la plataforma continental. Esta detallada enumeración encontrará su desarrollo diez años después en un texto normativo con rango de ley que, en sus planteamientos afrontaba la necesidad de reafirmar la naturaleza demanial del litoral y hacer lo necesario para frenar (si no revertir) su deterioro y conservar (si no recuperar) su riqueza.

La Ley de 1988 da una definición pormenorizada del concepto de dominio público marítimo terrestre, imponiendo esta naturaleza jurídica frente a aquellos derechos de propiedad privada que pudieran haberse establecido previamente sobre el litoral. Al tomar esta medida, el legislador cambió sensiblemente el régimen establecido para los enclaves dominicales privados contenido en la Ley de 1969, y desencadenó una profunda controversia en torno a la seguridad jurídica en el tráfico inmobiliario cuyos ecos alcanzaron hasta la propia Unión Europea. La contundencia de la medida venía justificada por la desnaturalización de la demanialidad de la costa y por la destrucción ocasionada a espacios vitales de producción orgánica y biológica.

La Ley de 1988 define como elementos del dominio público marítimo terrestre los siguientes:

- La ribera del mar y de las rías (Artículo 3.1). Dentro de ésta:
  - La zona marítimo-terrestre, definida por el espacio contenido entre la línea de bajamar o máxima viva equinoccial y el límite hasta donde alcancen las olas en los mayores temporales conocidos o, cuando lo supere, el de la línea de pleamar máxima viva

- equinoccial (Artículo 3.1.a)
- Los márgenes de los ríos hasta el lugar donde se haga sensible el efecto de las mareas (Artículo 3.1.a)
- Las marismas, albuferas, marjales, esteros y demás terrenos bajos que se inundan como consecuencia de la acción de las mareas, de las olas o de la filtración del agua del mar (Artículo 3.1.a)
- Las playas o zonas de depósito de arenas, gravas, guijarros y demás materiales sueltos (Artículo 3.1.b)
- Los escarpes, bermas y dunas formados por causas naturales o artificiales (Artículo 3.1.b)
- El mar territorial y las aguas interiores (Artículo 3.2)
- Los recursos naturales de la zona económica y la plataforma continental (Artículo 3.3)
- Las accesiones a la ribera del mar por depósito de materiales o por retirada del mar (Artículo 4.1)
- Los terrenos ganados al mar como consecuencia de obras realizadas (Artículo 4.2)
- Los terrenos desecados en la ribera (Artículo 4.2)
- Los terrenos invadidos por el mar que pasen a formar parte de su lecho (Artículo 4.3)
- Los terrenos cuya superficie sea invadida por el mar (Artículo 4.3)
- Los acantilados sensiblemente verticales en contacto con el mar o con terrenos del dominio público marítimo-terrestre, hasta su coronación (Artículo 4.4)
- Los terrenos deslindados como dominio público que hubieran perdido sus características naturales de playa, acantilado o zona marítimo-terrestre (Artículo 4.5)
- Los islotes en aguas interiores y mar territorial (Artículo 4.6)
- Los terrenos incorporados en virtud de concesiones administrativas sobre el dominio público marítimo-terrestre (Artículo 4.7)
- Los terrenos colindantes con la ribera del mar que se adquieran para su incorporación al dominio público marítimo-terrestre. (Artículo 4.8)
- Las obras e instalaciones construidas por el Estado en el dominio público marítimo-terrestre (Artículo 4.9)
- Las obras e instalaciones de iluminación de costas y señalización marítima construidas por el Estado

y los terrenos afectados al servicio de las mismas (Artículo 4.10)

- Los puertos e instalaciones portuarias de titularidad estatal (Artículo 4.11)
- Las islas formadas o que se formen por causas naturales en el mar territorial, en aguas interiores o en los ríos hasta donde se hagan sensibles las mareas, salvo casos excepcionales (Artículo 5)

Sobre esta extensa enumeración, el legislador viene a imponer una serie de regulaciones que ratifican la demanialidad de los bienes contenidos en la misma:

- Los caracteres de inalienabilidad, imprescriptibilidad e inembargabilidad (Artículo 7)
- La inoponibilidad de los títulos dominicales de naturaleza jurídica privada (Artículos 8 y 9)
- El establecimiento a favor de la Administración del Estado de potestades para la defensa del demanio:
  - Investigación (Artículo 10.1)
  - Recuperación posesoria (Artículo 10.2)
  - Deslinde (Artículos 11 y siguientes)

Este estricto régimen se ve complementado en el Título II de la Ley con un conjunto de limitaciones sobre las propiedad inmobiliarias que recaen sobre los terrenos colindantes al dominio público marítimo-terrestre, las cuales acotan el contenido del derecho subjetivo dominical privado por razón de la protección demanial. Estas restricciones se concretan en la imposición de una serie de servidumbres legales a soportar por los titulares de derechos dominicales privados, para garantizar la plena protección y uso del demanio marítimo-terrestre.

La aplicación del ambicioso proyecto contenido en la Ley de 1988 se desarrolló a lo largo de veinticinco años en los cuales se plantearon problemas de índole competencial (entre el Estado y las Comunidades Autónomas) y de seguridad jurídica (entre la Administración del Estado y la ciudadanía). Las soluciones planteadas para atemperar en los particulares los efectos de la normativa resultaron hasta cierto punto contradictorias con el espíritu de la misma, al transformar el derecho de propiedad en un derecho de ocupación y aprovechamiento demanial de larga duración (treinta años prorrogables por otros treinta, según la Disposición Transitoria Primera). La asunción de esta medida traía consigo una paradoja: si se admitía la posibilidad de un aprovechamiento por más de medio siglo, quizá la acción humana sobre el litoral no era tan grave, o bien sus efectos ya no eran reversibles. En uno u otro caso, eso llevaría a la conclusión de que la decisión del legislador había sido exagerada. Por otra parte, la transformación de la propiedad privada en una concesión por tiempo limitado suponía a ojos de las personas afectadas una pérdida incompatible con determinados derechos reconocidos en normas de

Derecho Internacional. Si a ello se suma el carácter transnacional del mercado inmobiliario en el litoral español, no resulta extraño que el Parlamento Europeo tuviera que pronunciarse sobre este problema a través del Informe sobre el impacto de la urbanización extensiva en España en los derechos individuales de los ciudadanos europeos, el medio ambiente y la aplicación del Derecho comunitario, con fundamento en determinadas peticiones recibidas (2008/2248(INI)), de 20 de febrero de 2009 y también denominado Informe Auken en honor a su ponente, la parlamentaria danesa Margrette Auken. Las conclusiones de este texto fueron aprovechadas por el legislador para abordar una reforma de la Ley de Costas, poco antes de que el texto cumpliera un cuarto de siglo de historia.

### 3. La lucha contra el cambio climático en la reforma de 2013

La reforma de la legislación costera vino a concretarse a través de la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas. La justificación de la modificación vino dada, según el legislador, por la necesidad de ajustar el equilibrio entre la protección del litoral y la seguridad jurídica en el tráfico, especificándose en los siguientes aspectos:

- La modificación respecto de la extensión de la servidumbre de protección, que en determinados terrenos pasa de cien a veinte metros.
- La modificación de los plazos de las concesiones administrativas sobre el demanio, que pasan de treinta a setenta y cinco años.
- El establecimiento del principio de inscripción obligatoria respecto de los deslindes efectuados así como la publicación de las líneas de los mismos en la sede electrónica del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- La revisión de los deslindes ya realizados para aplicar las consecuencias de las modificaciones operadas en la reforma.
- La transmisibilidad de las concesiones tanto *inter vivos* como *mortis causa*.
- La posibilidad de que la Administración General del Estado suspenda en vía administrativa los actos y acuerdos adoptados por las entidades locales que afecten a la integridad demanial.
- La introducción de medidas para paliar los efectos del cambio climático en el litoral.

La concreta referencia al cambio climático se plantea primeramente en la exposición de motivos, pues como colofón de la misma el legislador establece la imposición al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de una obligación de elaboración de una estrategia para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático. Dicha estrategia se compone de un diagnóstico riguroso de los riesgos asociados al cambio climático y de una



serie de medidas que permitan mitigarlos. La primera consecuencia de este mandato se concreta en la modificación del artículo 2.ª de la Ley de Costas, para introducir la variación climática como un factor de consideración a la hora de abordar las tareas de recuperación, conservación y protección del litoral.

Una mirada al articulado reformado de la Ley de Costas permite detectar la introducción de requisitos relacionados con la valoración de los efectos del cambio climático en cuestiones concretas como los proyectos de ocupación o uso del dominio público marítimo-terrestre (artículo 44), de la posibilidad de ampliar el plazo de concesión cuando se articulen planes de lucha contra aquéllos (artículo 66) o del establecimiento en los títulos de otorgamiento de autorización y concesión de la obligación del adjudicatario de adoptar las medidas oportunas para la lucha contra la variación climática y sus consecuencias (artículo 76). La regulación específica de cada uno de estos aspectos queda para el desarrollo reglamentario de la ley reformada, donde se comprobará efectivamente la extensión del mandato legal.

La lucha contra los efectos del cambio climático en el litoral constituye un añadido reciente en la legislación sectorial costera, consonante con las preocupaciones medioambientales del legislador español en los últimos años. Sin embargo, los efectos de unas medidas que aún esperan su desarrollo por normas de rango reglamentario solamente se verán cuando los preceptos contenidos en aquéllas y en la propia ley de la que traen causa se apliquen a una realidad tan variable, compleja y rica como la que constituyen las costas del país.

### Bibliografía

- Aguilera Sánchez, Marta (2013), *La reforma de la Ley de Costas: un retroceso en la protección del litoral*, artículo publicado en <http://aaedat.wordpress.com/2013/11/13/la-reforma-de-la-ley-de-costas-un-retroceso-en-la-proteccion-de-nuestro-litoral/>
- Capote Pérez, Luis Javier (2006), *Dominio público y Registro de la Propiedad*, en *Revista General de Legislación y Jurisprudencia*, III época, nº 1, enero-marzo, Editorial Reus, Madrid, pp. 107-126
- Capote Pérez, Luis Javier (2013), *Registro de la propiedad, bases gráficas y protección del patrimonio natural*, en *El impacto de las nuevas tecnologías en la publicidad registral*, Revista Aranzadi de Derecho y Nuevas Tecnologías, RDNT Monografía nº 11, Aranzadi Thomson Reuters, Cizur Menor, pp. 345-360
- De Pablo Contreras, Pedro, en Aa. Vv. (2008) *Curso de Derecho Civil (III) Derechos reales*, segunda edición, Editorial Colex, Madrid
- Díaz Fraile, Juan María (1991), *La protección registral del litoral. Prontuario de aspectos registrales del Reglamento de Costas de 1989*, Centro de Estudios Registrales, Madrid
- Parada, Ramón (2004), *Derecho Administrativo, III, Bienes públicos, Derecho urbanístico*, décima edición, Marcial Pons, Ediciones Jurídicas, S. A., Madrid.



# Natural Hazards & Climate Change

## Riesgos Naturales y Cambio Climático

### Editors

Santamarta Cerezal, Juan C.  
Hernández-Gutiérrez, Luis E.  
Arraiza Bermudez-Cañete, M<sup>a</sup> P.

Natural hazards are severe and extreme weather and climate events that occur naturally in all parts of the world, although some regions are more vulnerable to certain hazards than others. Educating people how to prepare against such hazards, before they become disasters, lives and property can be protected. This book includes information about many types of natural hazards. Natural hazards are natural events that threaten lives, property, and other assets.

Book topics includes such categories of:

- Introduction to Climate Change and Land Degradation
- Environmental Restoration
- Geologic Hazards
- Landslides
- Natural Hazards
- Water Management and Planning
- Erosion and Hydrological Restoration
- Forest Fire Land Restoration

*Natural Hazards & Climate Change/ Riesgos Naturales y Cambio Climático*, is of interests to academics, engineers, consultants, designers and professionals involved in Natural Hazards Studies. The book was written in English and Spanish.