

# Métodos de detección de cambios en teledetección

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Apellidos, nombre</b> | Ruiz Fernández, Luis Ángel (laruiz@cgf.upv.es)       |
| <b>Departamento</b>      | Ingeniería Cartográfica, Geodesia y<br>Fotogrametría |
| <b>Centro</b>            | ETSI. Geodésica, Cartográfica y Topográfica          |



## 1 Introducción

Una de las aplicaciones más comunes en teledetección es la detección de cambios a partir imágenes de fechas diferentes y su cartografiado para representar la evolución del paisaje en cuanto a los usos o coberturas del suelo. En este tema se describen algunos métodos de detección de cambios basados en el análisis de imágenes exclusivamente de dos fechas distintas. El proceso metodológico común a todos los métodos puede dividirse genéricamente en 5 fases (figura 1):

- **Adquisición y preprocesado de los datos:** Consiste en la adquisición de los datos geoespaciales (imágenes, fotografías aéreas, cartografía, bases de datos,...) necesarios para el proyecto, y en las operaciones cuyo objeto es la preparación de los mismos y convertirlos en información directamente útil para su análisis. Entre ellos están los trabajos de cambios y adaptación de formatos, recortes de las imágenes según la zona de estudio, formación de mosaicos, creación de máscaras para excluir las zonas que pueden interferir en el estudio, etc.
- **Correcciones geométricas y radiométricas:** Las correcciones geométricas consisten en la georreferenciación o rectificación absoluta de la imagen base y de posteriores registros de las imágenes restantes. En aquellas zonas en las que el relieve sea abrupto, esto es, las zonas de montaña, será necesario el empleo de un modelo digital de elevaciones para corregir las distorsiones debidas al relieve. En general, el registro es un paso fundamental en este tipo de aplicaciones y el error medio cuadrático no deberá superar 0,5 píxeles.

Las correcciones radiométricas consistirán en la normalización de las imágenes para reducir el efecto de las diferencias atmosféricas entre las distintas fechas y de diferencias en la calibración del sensor o sensores.

- **Análisis de detección de cambios:** Consistirá en la adecuada selección del algoritmo o del método de análisis de detección de cambios que se va a emplear. Esto se tratará en el apartado siguiente.
- **Evaluación de la fiabilidad:** Al igual que ocurría en la clasificación de imágenes (Unidad 10), la evaluación de la fiabilidad es imprescindible, empleando una fuente de validación fiable e independiente. Si se han realizado las evaluaciones de los usos del suelo en dos fechas distintas, por ejemplo, la fiabilidad del cambio entre ambas se obtendrá multiplicando las fiabilidades de cada una.
- **Generación del producto final:** Creación de informes donde se analicen los resultados y se expongan las conclusiones, acompañados de imágenes, mapas y toda la información necesaria para cumplir con los objetivos propuestos.

Existen numerosos métodos de análisis de cambios basados en la utilización de técnicas de teledetección y procesamiento digital de imágenes, la mayoría de ellos se basan en la combinación de varias técnicas (métodos híbridos) con el fin de mejorar los resultados finales y reducir los errores en la detección. En este tema se describen algunos de ellos que pueden considerarse estándar y ampliamente utilizados en diferentes aplicaciones.

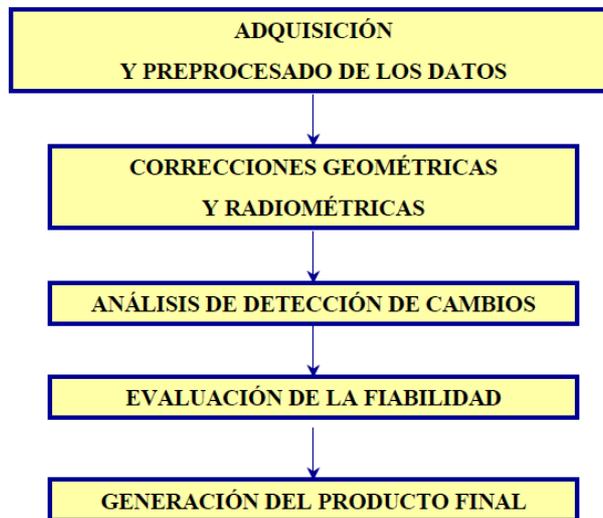


Figura 1.- Metodología general de análisis de cambios.

## 2 Objetivos

- Identificar los fundamentos de los métodos básicos de detección de cambios en teledetección, así como sus ventajas e inconvenientes
- Interpretar los resultados de los métodos aplicados a imágenes de satélite multispectrales.
- Identificar los indicadores utilizados para la evaluación y comparación de los diferentes métodos.

## 3 Diferencias y ratios entre imágenes

Consiste en la resta, píxel a píxel, de dos imágenes registradas, produciendo una tercera imagen que representa los cambios producidos entre ambas fechas. Las imágenes originales pueden ser bandas originales o bien combinaciones entre ellas, como índices de vegetación, por ejemplo. Deberá realizarse una normalización radiométrica previa para poder obtener resultados aceptables.

Tiene la ventaja de tratarse de un método sencillo en su aplicación, lo que reduce los costes de procesado y confiere gran potencial para su aplicación rutinaria en grandes volúmenes de datos. Como desventajas destacan su gran sensibilidad a errores en el registro geométrico y a la existencia de píxeles mezcla, así como a diferencias radiométricas entre imágenes (requieren rigurosos ajustes), además de necesitar la correcta definición de un umbral de cambio en la imagen de diferencias.

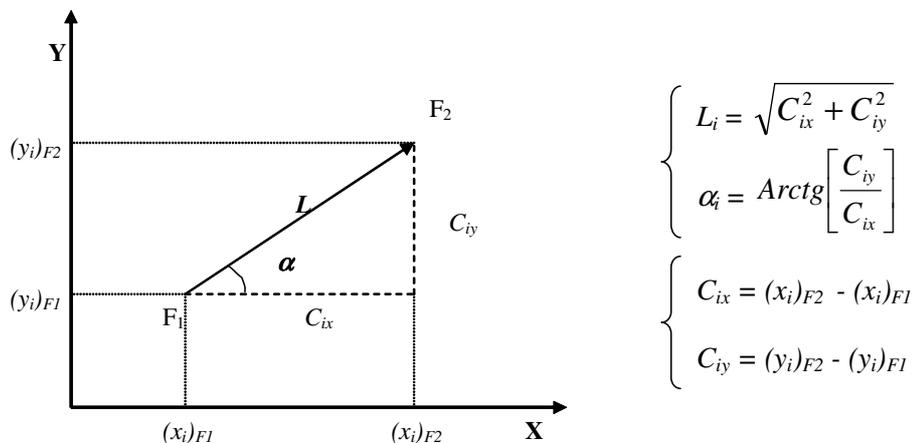
## 4 El vector de cambios

Geoméricamente, el *vector de cambios* de un píxel se define como el vector que une la posición espectral de dicho píxel en dos fechas distintas. Considerando un

espacio espectral de dos dimensiones (2 bandas espectrales), podría representarse en un diagrama de dispersión formado por las dos bandas. La figura 2 muestra un esquema gráfico y la formulación asociada a su cálculo.

La magnitud del vector de cambios (**L**) representa la intensidad del cambio, por lo que permite cuantificarlo, y la dirección del vector ( **$\alpha$** ) define el tipo de cambio, por lo que aporta una información cualitativa.

### VECTOR DE CAMBIOS



- Módulo (**L**): Intensidad del cambio
- Dirección ( **$\alpha$** ): Tipo de cambio

- $(x_i)_{F1}$  : Valor de la variable X en la fecha 1 y en un píxel genérico  $i$
- $(y_i)_{F1}$  : Valor de la variable Y en la fecha 1 y en un píxel genérico  $i$
- $C_{ix}$  : Magnitud de cambio en un píxel genérico  $i$  según la variable X

Figura 2.- Esquema y formulación del método del vector de cambios.

Este método constituye una valiosa herramienta no sólo para cuantificar los cambios, sino también para la interpretación visual de los mismos. Si en el espacio de color HSI hacemos corresponder la magnitud del vector de cambios a la intensidad (I), la dirección al tono (H) y dejamos la saturación (S) constante, y luego transformamos la imagen obtenida al espacio inicial de visualización RGB, obtendremos una imagen en la que los cambios de tono definirán el tipo de cambio, las zonas claras tendrán una magnitud elevada (mucho cambio) y las oscuras representarán una variación muy pequeña. En la figura 3 se muestra de forma esquemática este método de visualización basado en la transformación del módulo y la orientación del vector de cambios desde el espacio de color HSI al RGB.

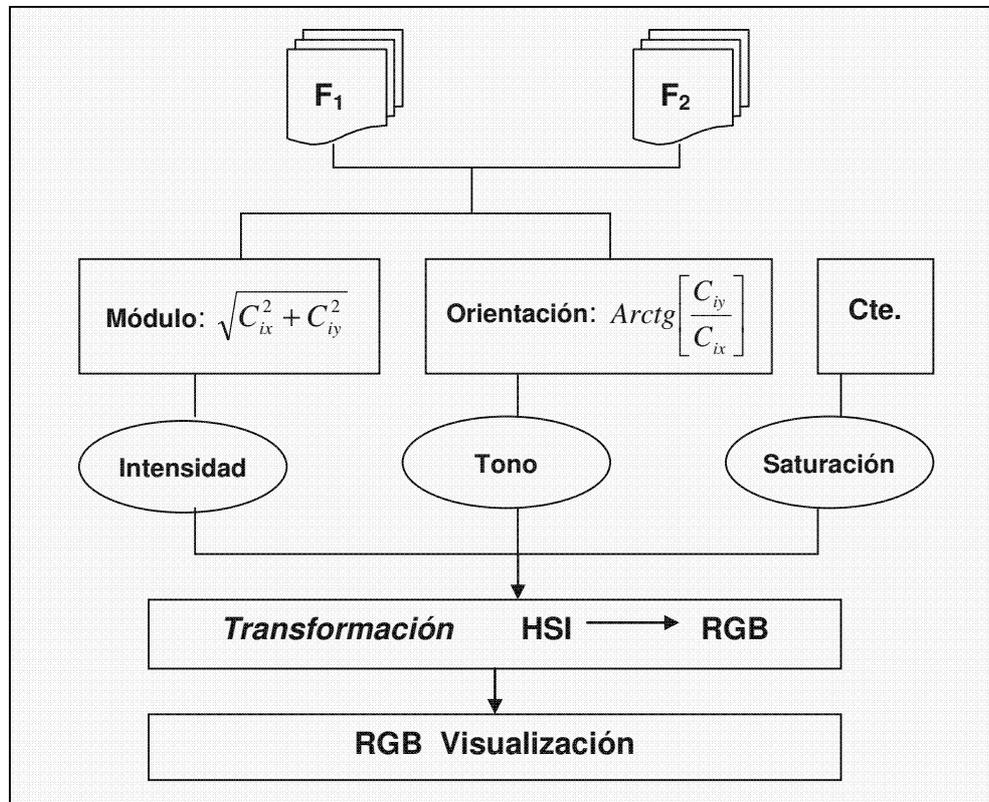


Figura 3.- Esquema del método de visualización basado en la transformación del módulo y la orientación del vector de cambios desde el espacio de color HSI al RGB.

La figura 4 muestra el resultado obtenido en la visualización de dos imágenes Landsat TM tras aplicar la transformación RGB>HSI. En este ejemplo, los tonos magenta/rojo se traducen en un aumento de la, en amarillo aparece el suelo agrícola cuya humedad ha disminuido, en verde transiciones de suelo a vegetación y el tono cian se relaciona con la pérdida total de la vegetación debido a un incendio forestal entre las dos fechas.

Si bien este método permite la detección y el cartografiado de diferentes tipos de cambio en usos o coberturas del suelo, está especialmente indicado cuando el número de clases de cambio es pequeño, facilitando su interpretación y análisis. Resulta también muy sensible a imprecisiones en el registro entre imágenes y a píxeles con mezcla. Además, es preciso normalizar radiométricamente las imágenes con antelación.

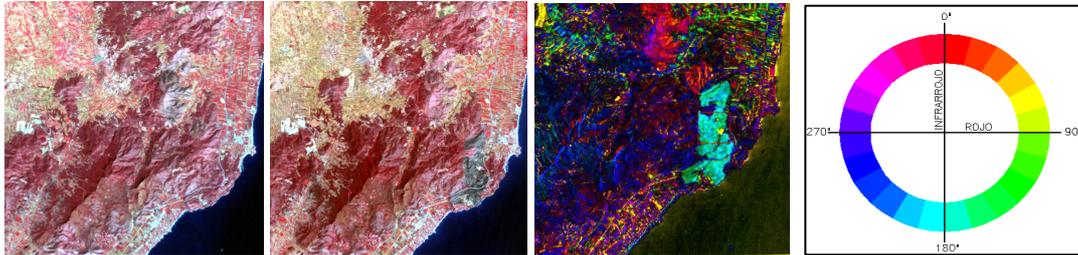


Figura 4.- Ejemplo de aplicación del vector de cambios como herramienta para la interpretación visual de las variaciones del paisaje. De izquierda a derecha: combinación en falso color infrarrojo en la fecha inicial, de la fecha final, visualización en color del vector de cambios y esquema con las transiciones de color en el plano del rojo (X) y NIR (Y).

## 5 Análisis de componentes principales multitemporal

Si se realiza el análisis de componentes principales sobre un conjunto de bandas espectrales correspondientes a dos fechas, los primeros componentes resultantes, que explican la mayor parte de la información contenida en las escenas, estarán asociados a las características comunes entre ambas fechas, mientras que los componentes secundarios (intermedios) registrarán los cambios producidos en el tiempo (aquellas características que únicamente aparecen en una de las fechas).

Los pasos que deben seguirse en el proceso son los siguientes:

1. Ajuste radiométrico para reducir las diferencias radiométricas entre los sensores y las diferencias atmosféricas entre ambas fechas.
2. Registro geométrico de las imágenes y remuestreo a la misma resolución espacial. De esta forma se podrán comparar píxel a píxel.
3. Integración de ambas imágenes en un solo fichero.
4. Aplicación del método de análisis de componentes principales sobre el conjunto de información multispectral.
5. Interpretación de los componentes e identificación de las zonas de cambio.

La figura 5 muestra dos imágenes, una IRS LISS-III y otra Landsat5-TM donde pueden apreciarse las diferencias estacionales entre ambas (cultivo del arroz en la albufera, por ejemplo), así como las diferencias en el desarrollo urbano entre las dos fechas. En la misma figura, a la derecha, se muestran los componentes 2º y 3º, donde se aprecian diferencias en el estado de la vegetación (zona oscura en el 2º componente) y en el avance urbano (zona muy clara en el 3er componente). La figuras 6 muestra varios detalles del realce del cambio en el componente 3.

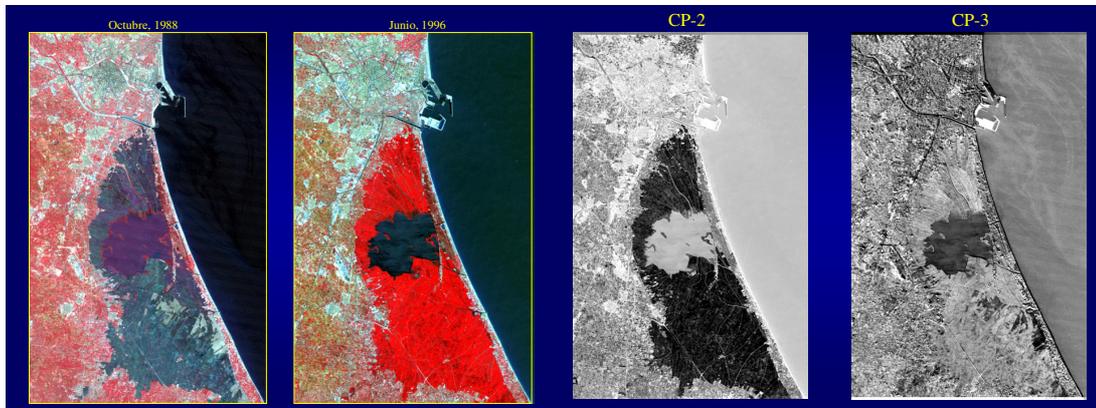


Figura 5.- Imágenes originales (IRS LISS-III y Landsat5 TM) y componentes principales 1º y 2º.

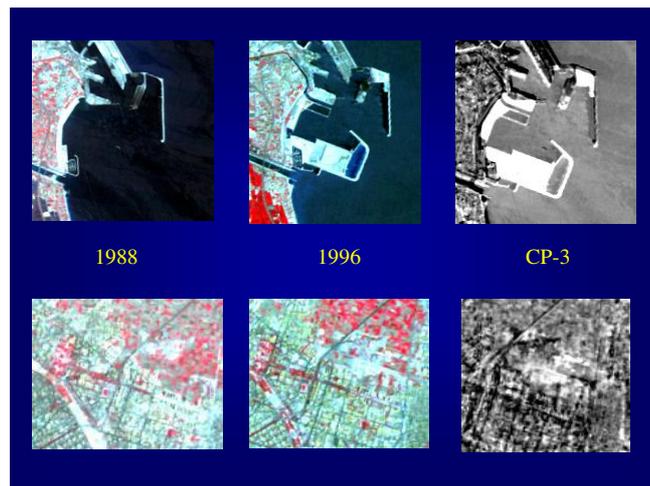


Figura 7.- Detalles de zonas de cambio en las imágenes originales y en el tercer componente.

## 6 Comparación post-clasificación

Consiste en aplicar clasificaciones independientes y comparar los resultados. No es tan crítico el registro geométrico ni el ajuste radiométrico. La principal desventaja es que acumula los errores de las dos clasificaciones, además de ser un método costoso, ya que deben llevarse a cabo dos procesos de clasificación de forma independiente.

La determinación de cambios se obtiene comparando las clases presentes en cada fecha. La principal limitación de este método es su gran dependencia de la fiabilidad de las clasificaciones individuales. Así, si las clases no se han discriminado correctamente en cualquiera de las dos fechas, los cambios resultarán erróneos. La fiabilidad del método viene dado por el producto de las fiabilidades de las clasificaciones de las que deriva.

## 7 Clasificación directa

Consiste en combinar las dos imágenes de fechas diferentes en un solo fichero y aplicar una clasificación de cambios utilizando todas las bandas multitemporales. Las clases en este caso representan directamente los cambios en los usos del suelo, por ejemplo de "agrícola a urbano", de "forestal a agrícola", etc. Este método sólo presenta el error de una clasificación. Su ventaja con respecto al resto es que permite generar mapas de muy diversas tipologías de cambio en un solo proceso, generalmente con bastante acierto si las clases se han definido correctamente y el conjunto de datos es apropiado. La figura 8 muestra un ejemplo del resultado de aplicar este método a las dos imágenes de la figura 4.

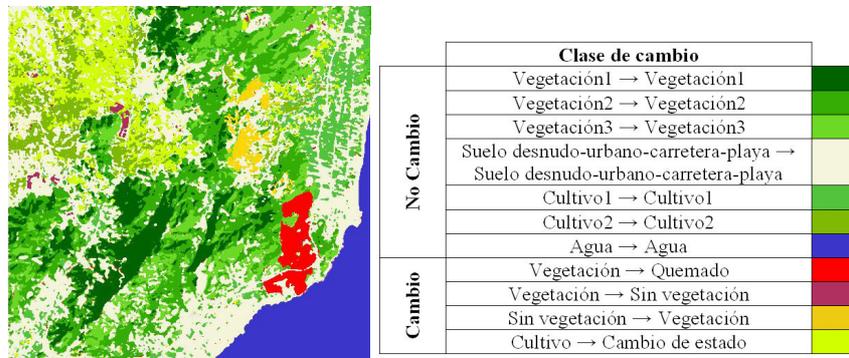


Figura 8.- Ejemplo del resultado de una clasificación directa, donde coexisten clases que representan zonas sin cambio y con cambio.

## 8 Métodos mixtos

En general, suelen ser los más utilizados. Como ejemplo, consideremos que se realiza la diferencia entre dos imágenes de dos fechas diferentes, seleccionando aquellas zonas con alta probabilidad de haber sufrido un cambio significativo. A continuación, puede aplicarse el método de comparación post-clasificación sólo en estas zonas. De esta forma, se reducen los errores por exceso en la identificación de cambios que se hubieran producido empleando sólo el método de clasificación, manteniendo los mismos errores por defecto.

En la figura 9 se representa gráficamente un esquema de esta estrategia, obteniendo como resultado final una imagen binaria o máscara de cambios de las nuevas construcciones urbanas en la zona y para el intervalo de fechas estudiado.

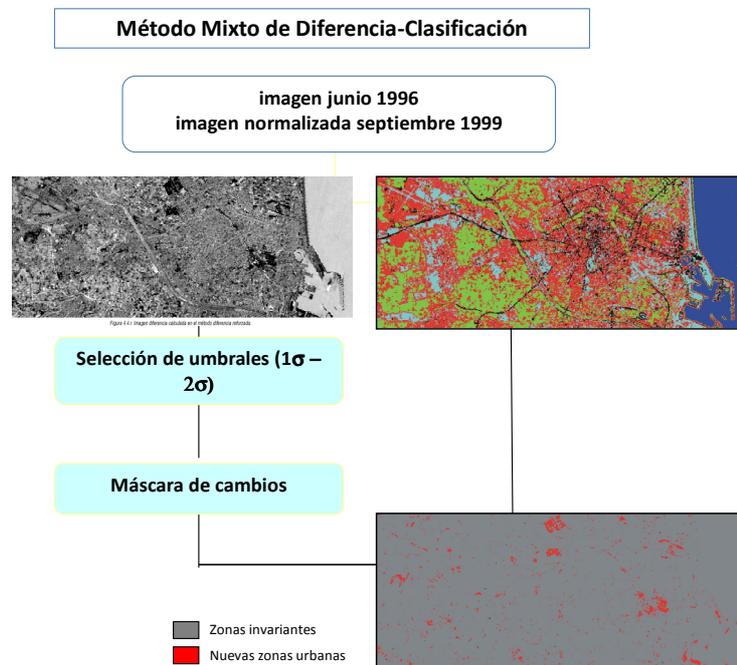


Figura 8.- Ejemplo de método mixto de detección de cambios, basado en la clasificación únicamente de aquellas zonas en las que la diferencia entre imágenes supera un determinado umbral empírico.

## 9 Evaluación de la detección de cambios

La evaluación de la detección de cambios se puede realizar calculando el factor de exceso y el factor de defecto. Para el cálculo de estos parámetros se utilizan los valores: Positivo Verdadero (TP), o píxeles de cambio que se detectan correctamente; Falso Positivo (FP), aquellos detectados como cambio pero que no lo son; Falso Negativo (FN), los píxeles de cambio que no son detectados (Figura 9).



Figura 9.- Evaluación de la detección de cambios: Izquierda, cambio real; centro, cambio detectado; derecha, comparación: Comparación: TP (amarillo), FN (azul) y FP (verde).

El factor de exceso (FE) constituye una medida del error por exceso, en el que el método detecta incorrectamente zonas de cambio que no lo son, mientras que el



*factor de defecto (FD)* es un ratio que indica el error de omisión cometido, esto es, las zonas de cambio que no son detectadas automáticamente como tales:

$$FE = \frac{FP}{TP} \quad FD = \frac{FN}{TP}$$

También se utiliza el *porcentaje de detección (PD)*, que denota el porcentaje de superficie de cambio correctamente detectado, mientras que el *porcentaje de calidad (PC)* informa sobre la calidad absoluta de la detección. Se trata de la medida más estricta, puesto que para la obtención de un 100% de calidad el algoritmo debería detectar correctamente toda superficie de cambio ( $FN = 0$ ), sin incluir ningún píxel que no pertenezca a esta clase ( $FP = 0$ ):

$$PD = 100 \frac{TP}{TP + FN} \quad PC = 100 \frac{TP}{TP + FP + FN}$$

## 10 Conclusiones

Los métodos de detección de cambios en teledetección siguen normalmente un procedimiento común basado en el ajuste radiométrico, geométrico, aplicación del algoritmo o método de detección, su evaluación y edición. Los resultados que pueden obtenerse son variados y en general dependen del problema o aplicación. Así, métodos simples como las diferencias o ratios entre imágenes son indicados para problemas sencillos y el manejo de una gran cantidad de datos. El vector de cambios y el análisis de componentes principales multitemporal facilitan la visualización e interpretación de los cambios, siendo adecuados cuando se quieren identificar pocas clases de cambio. Sin embargo, cuando el número de clases es elevado los métodos basados en clasificación son más precisos, si bien su aplicación es más costosa. Por último, a menudo es conveniente considerar métodos mixtos que reduzcan el número de errores y optimicen su aplicación.

## 11 Bibliografía

- Fung, T., 1990. An assessment of TM imagery for land cover change detection. IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing, 28(4), 681-692.
- Lambin, E.F. and A.H. Strahler, 1994. Change-vector analysis in multispectral space: A tool to detect and categorize land cover change processes using high temporal resolution satellite data. Remote Sensing of the Environment, 48, 231-244.
- Lunetta, R.S. and Elvidge, C.D., 1999. Remote sensing change detection. Environmental monitoring methods and applications. Taylor & Francis.
- Richards, John A., 1984. Thematic mapping from multitemporal image data using the principal components transformation. Remote Sensing of the Environment, 16, 25-46.
- Singh, A., 1989. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. International Journal of Remote Sensing 10 (6), 989-1003.