

Universidad de Huelva

Departamento de Economía Financiera, Contabilidad y
Dirección de Operaciones



Evaluación de estrategias docentes universitarias : una aplicación práctica del control estadístico de procesos en estudios de empresas

Memoria para optar al grado de doctora
presentada por:

Eyda Lucía Marín Ramírez

Fecha de lectura: 20 de enero de 2016

Bajo la dirección de las doctoras:

Ana Gessa Perera

María del Pilar Sancha Dionisio

Huelva, 2016





Departamento de Economía Financiera, Contabilidad y Dirección de Operaciones

EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DOCENTES UNIVERSITARIAS: UNA APLICACIÓN PRÁCTICA DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN ESTUDIOS DE EMPRESAS

Tesis Doctoral presentada por
Eyda Lucía Marín Ramírez

Directoras:

Dra. Dña. Ana Gessa Perera

Dra. Dña. M^a del Pilar Sancha Dionisio

Huelva, 2015

ÍNDICE

| | |
|----------------|----|
| Resumen..... | 15 |
| Abstract | 17 |

CAPÍTULO 1. OBJETIVOS, METODOLOGÍA Y CONTENIDO

| | |
|--|----|
| 1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO | 22 |
| 1.2. PROPÓSITO GENERAL Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN | 27 |
| 1.3. METODOLOGÍA | 31 |
| 1.4. CONTENIDO Y ESTRUCTURA DEL TRABAJO | 32 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 35 |

CAPÍTULO 2. LOS GRÁFICOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS (CEP)

| | |
|---|----|
| 2.1. INTRODUCCIÓN..... | 44 |
| 2.2. LOS GRÁFICOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS | 47 |
| 2.2.1. Consideraciones generales | 47 |
| 2.2.2. Diseño y construcción de un gráfico de control: etapas y aspectos a considerar | 51 |
| 2.3. TIPOS DE GRÁFICOS DE CONTROL DE CALIDAD..... | 60 |
| 2.3.1. Gráficos de control de variables..... | 61 |
| 2.3.1.1. Gráficos de control univariados..... | 62 |
| 2.3.1.1.1. Gráfico X - R..... | 63 |
| 2.3.1.1.2. Gráfico X - S..... | 64 |
| 2.3.1.1.3. Gráficos con Memoria | 68 |
| 2.3.1.1.3.1. Gráfico de Medias Móviles | 69 |

| | |
|---|----|
| 2.3.1.1.3.2. Gráfico CUSUM..... | 70 |
| 2.3.1.1.3.3. Gráfico EWMA..... | 72 |
| 2.3.1.1.3.4. Otros gráficos de control de variables: aplicaciones especiales..... | 72 |
| 2.3.1.2. Gráficos de control multivariados | 73 |
| 2.3.2. Gráficos de control de atributos..... | 75 |
| 2.3.2.1. Gráfico p para fracción defectuosa | 76 |
| 2.3.2.2. Gráfico np | 79 |
| 2.3.2.3. Gráfico c | 80 |
| 2.3.2.4. Gráfico u | 81 |
| 2.3.3. Otros gráficos de control de calidad | 83 |
| 2. 4. APLICACIONES DEL CEP EN EL SECTOR SERVICIOS | 87 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 91 |

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN CONTEXTOS EDUCATIVOS: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA EN EL ÁMBITO UNIVERSITARIO

| | |
|---|-----|
| 3.1. OBJETIVOS DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 104 |
| 3.2. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA..... | 104 |
| 3.2.1. Identificación del campo de estudio y periodo a analizar | 105 |
| 3.2.2. Selección de las fuentes de información | 106 |
| 3.2.3. Realización de la búsqueda | 106 |
| 3.2.4. Gestión y depuración de los resultados | 109 |
| 3.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS | 111 |
| 3.3.1. Publicación de los estudios..... | 112 |
| 3.3.2. Contextualización de los estudios | 116 |

| | |
|--|-----|
| 3.3.3. Diseño y desarrollo de los estudios | 124 |
| 3.3.4. Resultados..... | 132 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 137 |

CAPÍTULO 4. CONTROL Y MEJORA DE LA CALIDAD EN LA ENSEÑANZA UNIVERSITARIA: UNA APLICACIÓN DEL CEP

| | |
|---|-----|
| 4.1. INTRODUCCIÓN..... | 146 |
| 4.2. LA PROPUESTA DE APRENDIZAJE: ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLANTACIÓN ... | 151 |
| 4.2.1. Participantes, objetivo y contexto educativo de la experiencia | 152 |
| 4.2.2. Descripción de la propuesta de aprendizaje: diseño y aplicación | 154 |
| 4.3. EVALUACIÓN DE LA ESTRATEGIA DOCENTE | 159 |
| 4.3.1. Diseño de la investigación y recopilación de datos..... | 159 |
| 4.3.2. Tratamiento y análisis de los datos | 163 |
| 4.4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN..... | 164 |
| 4.4.1. Análisis descriptivo..... | 164 |
| 4.4.1.1. Perfil de los alumnos..... | 164 |
| 4.4.1.2. Valoración general de las presentaciones guiadas | 169 |
| 4.4.2. Aplicación del CEP | 171 |
| 4.4.2.1 Aplicación de los gráficos de control de variables | 172 |
| 4.4.2.1.1. Obtención y preparación de los datos..... | 172 |
| 4.4.2.1.2. Construcción del gráfico T^2 de Hotelling..... | 174 |
| 4.4.2.1.3. Descomposición del estadístico T^2 de Hotelling por el Método Murphy | 181 |
| 4.4.2.1.4. Construcción de gráficos individuales I-MR | 182 |
| 4.4.2.1.5. Análisis de Componentes Principales | 195 |
| 4.4.2.2. Aplicación de los gráficos de atributos..... | 198 |

| | |
|--|-----|
| 4.4.2.3. Análisis de capacidad del proceso | 206 |
| 4.4.2.4. Propuestas de mejora | 210 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 213 |

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES GENERALES E IMPLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

| | |
|---|-----|
| 5.1. PRINCIPALES CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN | 226 |
| 5.2. PRINCIPALES APORTACIONES DE LA TESIS | 241 |
| 5.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN | 242 |
| 5.4. FUTUROS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN | 243 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| ANEXO CAPÍTULO 3 | 245 |
|-------------------------------|-----|

| | |
|-------------------------------|-----|
| ANEXO CAPÍTULO 4 | 259 |
|-------------------------------|-----|

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|-----|
| Cuadro 2.1. Patrones comunes de los gráficos de control de calidad | 58 |
| Cuadro 2.2. Gráficos de control de calidad..... | 61 |
| Cuadro 2.3. Distintos casos de procesos | 68 |
| Cuadro 3.1. Distribución de artículos por tipo de gráficos (% artículos) | 131 |
| Cuadro 3.2. Beneficios de la aplicación de los gráficos de control en el ámbito educativo | 133 |
| Cuadro 3.3. Limitaciones de la aplicación de los gráficos de control en el ámbito educativo | 135 |
| Cuadro 4.1. Competencias a desarrollar | 153 |
| Cuadro 4.2. Principales características de la enseñanza impartida | 154 |
| Cuadro 4.3. Distribución de los estudiantes en función de la asistencia a clases (teóricas y prácticas) (% de alumnos) | 165 |
| Cuadro 4.4. Valoración de las presentaciones guiadas por los alumnos..... | 170 |
| Cuadro 4.5. Codificación de los ítems de competencias y habilidades..... | 173 |
| Cuadro 4.6. Prueba de normalidad Ryan-Joiner de las variables | 175 |
| Cuadro 4.7. Análisis de correlación (matriz de correlación y coeficiente Pearson)..... | 177 |
| Cuadro 4.8. Patrones de comportamiento..... | 183 |
| Cuadro 4.9. Informe de capacidad del proceso (datos transformados POLS)..... | 207 |
| Cuadro 4.10. Informe de capacidad del proceso. (Gráfico p) | 210 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1.1. Estructura y contenido de la investigación | 34 |
| Figura 2.1. Representación gráfica de la variabilidad de un proceso (gráfico de control) | 48 |
| Figura 2.2. Diseño y construcción de los gráficos de control | 52 |
| Figura 2.3. Diagrama para la construcción de los gráficos X-R..... | 67 |
| Figura 2.4. Gráficos de control con datos correlacionados | 87 |
| Figura 3.1. Fases del proceso de revisión bibliográfica..... | 105 |
| Figura 3.2. Proceso generalizado de búsqueda | 108 |
| Figura 3.3. Proceso de depuración de resultados..... | 110 |
| Figura 3.4. Distribución gráfica de publicaciones por continentes (% artículos) | 122 |
| Figura 4.1. E-actividades y triángulo interactivo | 148 |
| Figura 4.2. Modelo de desarrollo instruccional..... | 154 |
| Figura 4.3.a. Extracto de una parte de una guía tutorizada | 157 |
| Figura 4.3.b. Extracto de una parte de una guía tutorizada (continuación) | 158 |
| Figura 4.4. Proceso de recogida de datos | 160 |
| Figura 4.5. Esquema del análisis de capacidad con Minitab..... | 209 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|-----|
| Gráfico 3.1. Distribución temporal de las publicaciones del CEP en el ámbito educativo (1995-2015) (número de artículos/año) | 115 |
| Gráfico 3.2. Clasificación de los trabajos por ámbito de aplicación (%)..... | 117 |
| Gráfico 3.3. Clasificación de los trabajos publicados en función de los objetivos (% artículos) | 121 |
| Gráfico 3.4. Distribución gráfica de publicaciones por países | 122 |
| Gráfico 3.5. Artículos según la duración de la realización del estudio (% sobre total de estudios) | 124 |
| Gráfico 3.6. Clasificación de los trabajos publicados por tipo de instrumentos de medida (%)..... | 128 |
| Gráfico 3.7. Distribución de las publicaciones en función de las unidades de medida (% estudios) | 129 |
| Gráfico 4.1. Distribución de la muestra por sexo y edad (nº de alumnos) | 165 |
| Gráfico 4.2. Distribución de los estudiantes por grupos de clases y asistencia a clases teóricas | 166 |
| Gráfico 4.3. Distribución de la muestra en función del número de veces que han realizado las prácticas..... | 167 |
| Gráfico 4.4. Distribución de los estudiantes por grupos de clases y número de veces que ha realizado las prácticas..... | 168 |
| Gráfico 4.5. Distribución de los estudiantes por grupos de clases y grupo que habitualmente asiste | 168 |
| Gráfico 4.6. Nivel de satisfacción de los alumnos con el recurso didáctico (% de alumnos)..... | 169 |
| Gráfico 4.7. Gráfico T2 de Hotelling (165 observaciones) | 179 |
| Gráfico 4.8. Gráfico T2 de Hotelling (164 observaciones, sin la observación 2)..... | 180 |

| | |
|--|-----|
| Gráfico 4.9. Gráfico I-MR para C14 (Autonomía y responsabilidad) | 184 |
| Gráfico 4.10. Gráfico I-MR para C15 (Capacidad de aprendizaje) | 185 |
| Gráfico 4.11. Gráfico I-MR para C16 (Estudio de forma continuada) | 186 |
| Gráfico 4.12. Gráfico I-MR para C17 (Habilidad de comunicación) | 187 |
| Gráfico 4.13. Gráfico I-MR para C18 (Capacidad de análisis y síntesis) | 188 |
| Gráfico 4.14. Gráfico I-MR para C19 (Tecnologías de la información) | 189 |
| Gráfico 4.15. Gráfico I-MR para C20 (Capacidad de crítica y evaluación) | 190 |
| Gráfico 4.16. Gráfico I-MR para C21 (Capacidad para detectar problemas) | 191 |
| Gráfico 4.17. Resultados de la prueba 2 por grupos de clases | 194 |
| Gráfico 4.18. Resultados de la prueba 5 por grupos de clases | 194 |
| Gráfico 4.19. Distribución de patrones de comportamiento por competencias y grupos de alumnos | 195 |
| Gráfico 4.20. Gráfico de valores atípicos de los componentes principales..... | 197 |
| Gráfico 4.21. Gráfico p de C9 (satisfacción global) | 200 |
| Gráfico 4.22. Gráfico p de C14 (Autonomía y responsabilidad) | 201 |
| Gráfico 4.23. Gráfico p de C15 (Capacidad de aprendizaje) | 201 |
| Gráfico 4.24. Gráfico p C16 (Estudio de forma continuada) | 202 |
| Gráfico 4.25. Gráfico p de C17 (Habilidad de comunicación) | 202 |
| Gráfico 4.26. Gráfico p de C18 (Capacidad de análisis y síntesis)..... | 203 |
| Gráfico 4.27. Gráfico p de C19 (Tecnologías de la información) | 203 |
| Gráfico 4.28. Gráfico p de C20 (Capacidad de crítica y evaluación) | 204 |
| Gráfico 4.29. Gráfico p de C21 (Capacidad para detectar problemas) | 204 |
| Gráfico 4.30. Fracción de alumnos insatisfechos por tipo de competencias evaluadas..... | 206 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 3.1. Distribución de publicaciones por categoría de indexación | 113 |
| Tabla 3.2. Información relevante sobre las principales revistas con publicaciones de aplicaciones del CEP en el ámbito educativo | 114 |
| Tabla 3.3. Número de autores de las publicaciones de CEP (1995-2015) | 116 |
| Tabla 3.4. Disciplina en las que se enmarcan los trabajos..... | 119 |
| Tabla 3.5. Distribución de los estudios por ámbito geográfico, objetivo y área de conocimiento (nº estudios)..... | 123 |
| Tabla 3.6. Características de calidad de los trabajos analizados..... | 126 |
| Tabla 3.7. Distribución de las publicaciones por tipo de gráfico de control aplicado..... | 130 |
| Tabla 4.1. Distribución de alumnos por grupos de prácticas | 162 |
| Tabla 4.2. Valoración de las competencias y habilidades de los estudiantes ... | 171 |
| Tabla 4.3. Valores estandarizados continuos equivalentes para la escala Likert..... | 174 |
| Tabla 4.4. Vector media | 178 |
| Tabla 4.5. Matriz de covarianza..... | 178 |
| Tabla 4.6. Vector media (164 observaciones)..... | 179 |
| Tabla 4.7. Matriz de covarianza (164 observaciones) | 180 |
| Tabla 4.8. Descomposición del estadístico T ² de Hotelling con el método Murphy.. .. | 182 |
| Tabla 4.9. Anomalías en los gráficos de control de media individuales (I)..... | 192 |
| Tabla 4.10. Anomalías en los gráficos de control de rango móvil individuales (MR)..... | 193 |
| Tabla 4.11. Análisis de componente principal..... | 196 |
| Tabla 4.12. Observaciones atípicas detectadas con el ACP | 198 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 4.13. Número de alumnos insatisfechos por grupo de prácticas ($x_i < 4$)..... | 199 |
| Tabla A3.1. Publicación de los estudios de aplicación del CEP en el ámbito educativo | 247 |
| Tabla A3.2. Contextualización de los estudios de aplicación del CEP en el ámbito educativo | 251 |
| Tabla A3.3. Aspectos metodológicos básicos de los estudios | 255 |
| Tabla A4.1. Resultados de la transformación POLS para el total de observaciones 261 | 261 |
| Tabla A4.2. Resultados de la descomposición del estadístico T^2 para el total de observaciones..... | 269 |
| Tabla A4.3. Coeficientes de componentes principales (CP) para el total de observaciones..... | 278 |

SIGLAS Y ABREVIATURAS

ACP: Análisis de Componentes Principales

ADE: Administración y Dirección de Empresas

ANECA: Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación

AVR: Average Run Length

CAT: Computerized Adaptive Testing

CCPR: Control Chart Pattern Recognition

CEP: Control Estadístico de Procesos

C_p : Índice de Capacidad potencial del proceso

C_{pk} : Índice de Capacidad real del proceso

CUSUM: Cumulative Sum

ECTS: European Credit Transfer and Accumulation System

EEES: Espacio Europeo de Educación Superior

EWMA: Exponentially Weighted Moving Average

GPA: Grade Point Average

LC: Línea Central

LCI: Límite de Control Inferior

LCS: Límite de Control Superior

LTI: Límite de Tolerancia Inferior

LTS: Límite de Tolerancia Superior

LVNI: Límite de Variación Natural Inferior

LVNS: Límite de Variación Natural Superior

MA: Moving Average

MCUSUM: Multivariate Cumulative Sum

MEWMA: Multivariate Exponentially Weighted Moving Average

MR: Moving Range

OC: Operating Characteristics

POLS: Probit Ordinary Least Square

RIE: Resources in Education

RL: Run Length

SET: Student Evaluation of Teaching

SPC: Statistical Process Control

TAI: Test Adaptativos Informatizados

TIC: Tecnologías de la Información y comunicación

VC: Valor Central

α : Error tipo I

β : Error tipo II

Resumen

El propósito general de este trabajo es evaluar la calidad de las estrategias docentes mediante la aplicación de las técnicas de Control Estadístico de Procesos (CEP), con el fin de controlar y mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje y garantizar el cumplimiento de los objetivos de aprendizaje de una enseñanza basada en las competencias, que demanda el actual contexto educativo de estudios universitarios.

Para ello, una vez establecido el marco teórico de las técnicas de los gráficos de CEP y, el estado de la cuestión acerca de la aplicación de dichas técnicas en el ámbito educativo universitario, el trabajo empírico que se presenta en esta tesis se centra en la evaluación, a través de los gráficos de CEP, de una propuesta integrada de elementos tecnológicos y pedagógicos para el aprendizaje del contenido práctico de una asignatura del área de Organización de Empresas. Se trata de integrar las Tecnologías de la información y Comunicación (TIC) en el desarrollo de las clases prácticas de la asignatura (organizadas en grupos reducidos), mediante el uso de guías, diseñadas en soporte digital, para el desarrollo de los contenidos prácticos de la asignatura.

Con esta propuesta se pretende favorecer el aprendizaje autónomo, referido prioritariamente al aprendizaje del “cómo hacer correctamente una determinada actividad” (guiar el aprendizaje). Con ello se intenta, por un lado, facilitar al alumnado el estudio y la comprensión de los contenidos teóricos; y por otro lado, adquirir otras competencias (transversales y específicas) recogidas explícitamente en los nuevos planes de estudios de los Grados de Administración y Dirección de Empresas. Su desarrollo e implantación se ha realizado, bajo el enfoque tecnopedagógico, mediante un proceso diseñado bajo el análisis compartido de los profesores, considerando todos aquellos aspectos que puedan contribuir al desarrollo del proyecto.

La información necesaria para la evaluación del uso del recurso didáctico en las clases prácticas se ha obtenido directamente de los alumnos que habitualmente asisten a los grupos reducidos de prácticas y que han cumplimentado (mediante un sistema de respuesta interactiva) el cuestionario elaborado para tal fin. Un total de 184 alumnos participaron en el estudio.

A partir de los resultados obtenidos del análisis uni-multivariante se ha podido establecer el estado de control del proceso de aprendizaje, el nivel de satisfacción de los estudiantes, la capacidad del proceso y posibles acciones de mejora. El análisis multivariado a través del gráfico T^2 de Hotelling para el total de las observaciones del estudio confirman la hipótesis nula de que el proceso derivado de la propuesta de aprendizaje no está fuera de control estadístico. Esto se deduce, no sólo del análisis de los puntos fuera del intervalo de control del gráfico utilizado, sino también del estudio realizado de manera independiente, mediante gráficos de observaciones individuales de medias y rangos móviles de la valoración de las competencias y destrezas evaluadas en el proceso por los estudiantes, no detectándose además patrones de comportamiento significativos que hagan pensar en alguna causa asignable al proceso. No obstante, el análisis de capacidad realizado muestra que, a pesar de que el proceso no está fuera de control estadístico, aquel no tiene suficiente capacidad para cumplir totalmente con las especificaciones exigidas por los docentes participantes en el proyecto.

Asimismo, para completar el estudio, el análisis del nivel de satisfacción de los alumnos, realizado a través del gráfico de atributo (p), proporciona información relevante para la mejora del proceso derivado de la estrategia docente diseñada. Se constata que, como en todas las empresas, siempre existen oportunidades de mejora, como consecuencia de una reducción de la variabilidad del proceso. La planificación y composición de los grupos de alumnos y la programación de las clases prácticas se identifican, entre otras, como posibles acciones de mejora del proceso.

Por todo lo expuesto, el trabajo proporciona un enfoque práctico, sistemático y estructurado para evaluar procesos educativos, orientado al proceso y no a los resultados. Aquel proporciona información relevante para la gestión y control de la calidad de los procesos de aprendizaje y de otros servicios educativos, bajo un enfoque proactivo de mejora continua, detectando las posibles causas de variabilidad asignables a dichos procesos, así como medir la capacidad de las estrategias docente para garantizar la adquisición y desarrollo de las diferentes competencias demandadas en los actuales planes de estudios. Además, la aplicación de estas técnicas, no solo permite la autoevaluación, sino también su uso con fines comparativos (con otras estrategias docentes similares, otros centros universitarios, etc.).

Abstract

The general objective of this work is to evaluate teaching strategies in applying techniques of Statistical Process Control (SPC), in order to control and improve teaching-learning processes and guarantee the fulfillment of learning objectives based on skills that are required by currently educational university environment context.

For this purpose, once the theoretical framework of the SPC charts and the state of art application of these same skills in the university environment have been established, the empirical work of this thesis will focus on the evaluation, using SPC charts, of an integrated strategy of technical and pedagogic elements for the purpose of addressing learning of practical issues of a Business Organization course. Its purpose is the integration of ICTs in its development at the level of practical work areas of the course (set up in small groups) using the digital support planned guides to further improve the practical features of the course.

This proposal aims at primarily promoting self-learning applied to: "How to efficiently do a specific task at hand" (learning guide). The objective is then to facilitate the student's learning and understanding of the theoretical aspects, and on the other hand to acquire further transverse and specific knowledge as part of the new learning goals put forward for Management and Business Administration Programs. Its development and implementation was realized from a techno-pedagogic approach by a shared analysis with the teaching staff, taking into account all aspects that could improve the development of the project.

The gathering of the useful information to evaluate the direct approach system in the on hand practical classes was directly obtained from the small groups of students in the practical classes that have answered a questionnaire for this purpose (through Interactive Response System). A total of 184 students have participated to the study.

The results obtained through the multivariate and univariate analysis allowed us to evaluate the state of the statistical control of the learning process, the level of student satisfaction, the process capability index and potential improvement

measures. The multivariate analysis through a T^2 de Hotelling chart on the total of the 165 observations, confirmed the nil hypothesis that, the educational process evaluates in is not outside of statistical control. This is gathered not only from the data inside of the control interval of the chart which was used, but also from the independent study that was done with I-MR charts. The competences and abilities measured in the process by the students did not show any type of aberrant patterns to suggest any assignable cause to the process. Nevertheless, the study of the capacity that was realized shows that even if the process is not out of statistical control, it does not have enough capacity to totally meet the expected specifications that the teachers who participated in the project required.

Therefore, to finalize the research, the analysis of the student's satisfaction level showed in the attribute charts (p) give adequate information to improve the process derived from the proposed teaching strategy. It is found that, as it is always the case in all enterprises, there is always room for improvement when the variability of the processes are reduced or eliminated. Some of the ways to improve the process are the re-planning and optimization of subgroups and the re-programming of practical classes.

As a result of this study we can count on a practical, structural and systematic approach to evaluate educational processes based on the process itself and not on the results. This provides valuable information on management control of the quality of the learning processes and other educational services focused on proactive approach of continuous improvement, and the proposed approach is useful to detect variability causes and the capacities of the teachers to develop different skills that are asked for in the learning programs. Furthermore, the application of these technical abilities provides not only for self evaluations but also its use for comparative purposes with other strategies from other teachers or at other university centers, etc.

Capítulo 1

Objetivos, metodología y
contenido

Objetivos, metodología y contenido

En este Capítulo del trabajo exponemos los motivos que nos han llevado a su realización, así como el propósito general y los objetivos que perseguimos, la metodología empleada y el contenido y la estructura del mismo, aspectos éstos a los que ahora dedicamos nuestra atención.

1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Las oportunidades que las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) ofrecen en las aulas universitarias y la posibilidad de impartir parte de la docencia en grupos reducidos de alumnos han propiciado nuevos enfoques del proceso de enseñanza-aprendizaje en el marco del Espacio Europeo de Enseñanza Superior (EEES), basado en una formación más flexible, multisoporte y personalizada. Esto requiere nuevos planteamientos de la docencia, con nuevas estrategias y con nuevos recursos didácticos y actividades para promover el aprendizaje significativo de los alumnos.

En este nuevo contexto educativo, en el que los estudiantes se convierten en los protagonistas de la adquisición de su propio conocimiento, las estrategias didácticas están más orientadas al desarrollo de destrezas y actitudes, que al dominio de conocimientos (Martínez y Echavarría, 2009; Martín y Junyent, 2008). Así pues, los métodos docentes tradicionales, basados principalmente en la transmisión de conocimientos, se muestran claramente insuficientes para el desarrollo y evaluación de estas nuevas competencias y más aún si cabe, en un ámbito complejo, dinámico y competitivo como el de los estudios de Economía y Empresa, en el cual centramos el presente trabajo.

Bajo esta perspectiva, son cada vez más los estudios que analizan, con fines diferentes, los resultados de proyectos o innovaciones docentes en las diferentes fases del proceso de enseñanza-aprendizaje. Evidencia esta preocupación el significativo número de trabajos que en los últimos años han sido publicados en revistas especializadas y presentados en multitud de foros de carácter científico y académico, así como el surgimiento de redes y grupos de investigación consolidados a nivel nacional sobre la evaluación formativa en las universidades, como, por ejemplo, el Grupo de Innovación en la Evaluación para la Mejora del Aprendizaje Activo (IEMA¹), el Grupo de Investigación EVALfor² -evaluación en

¹ Grupo de profesores de la Universidad Politécnica de Valencia procedentes de diferentes áreas de conocimiento con un interés común: el estudio y la reflexión sobre temas de la evaluación en la enseñanza-aprendizaje en el ámbito universitario (www.upv.es/gie/index.html).

² La misión del grupo es contribuir y fomentar la investigación, innovación y competitividad en evaluación promoviendo la cultura de calidad y excelencia; liderando y participando en proyectos innovadores, coherentes y útiles; favoreciendo el progreso y la mejora mediante la utilización de metodologías de investigación avanzadas; generando conocimiento y

contextos educativos-, el proyecto RIMA³ (Investigación e Innovación en Metodologías de Aprendizaje), la Red de Evaluación Formativa y Compartida en Docencia Universitaria en Educación⁴ (REFYCES) y la Red de Investigación sobre Liderazgo y Mejora Educativa⁵ (RILME).

De manera general, son numerosos los estudios que abordan la importancia de la implementación adecuada de las TIC en las estrategias de aprendizaje, y que proporcionan una visión clara del potencial, ventajas, desventajas y críticas al uso de las mismas en la docencia. Una muestra de ellos son los realizados por Kirkwood (2009), Tang y Austin (2009), Wang (2008), Löfström y Nevgi (2007), Selwyn (2007), Stensaker et al. (2007), Bates (2000), Ma et al. (2000) y Piccoli et al. (2000).

Cabe resaltar, que la principal fuente de información utilizada en la mayoría de los estudios que analizan y evalúan la utilidad de las estrategias docentes en el nuevo entorno educativo, es la opinión de los sujetos implicados (alumnos, docentes, etc.) en la propuesta didáctica objeto de análisis, normalmente vinculadas a aspectos tales como la motivación, la dificultad, la utilidad, la satisfacción y la percepción del aprendizaje (Alfalla-Luque et al., 2011; López-Pérez et al, 2011; Larson y Chung-Hsien, 2009; Sun y Cheng, 2007; Webb et al., 2005; McCray, 2000).

De esta manera, para examinar la eficacia de la implantación de las TIC en el proceso de aprendizaje y como el uso de estas tecnologías contribuyen al

creando valor; creando y potenciando redes de investigadores y evaluadores; aplicando, transfiriendo y difundiendo los conocimientos y resultados generados en la sociedad.

³ Creado en la Universidad Politécnica de Cataluña con la doble voluntad de dar una mayor visibilidad a la innovación docente que ya se está desarrollando y de potenciar la participación del profesorado en actividades de innovación e investigación educativa (<https://www.upc.edu/rima/>).

⁴ La actividad principal de la Red es el desarrollo de experiencias de innovación en docencia universitaria. Todos los miembros se comprometen a realizar un proceso de investigación sobre una experiencia de evaluación anual que concluirá en un informe según un modelo común estructurado y validado. Entre sus miembros se encuentran, entre otras, las Universidades de Granada, Valencia, Valladolid, Barcelona, Alicante, Cantabria, León, Burgos, Cádiz, etc. (<https://revaluacionformativa.wordpress.com/>).

⁵ Su objetivo es concentrar el conocimiento, los recursos y la trayectoria de varios grupos de investigación de universidades españolas que han venido trabajando en los últimos años sobre dicha temática. Se trata en concreto de cuatro grupos de investigación, pertenecientes a la Universidad Autónoma de Madrid (UAM), la Universidad de Granada (UGR), la Universidad de Huelva (UHU) y la Universidad de Sevilla (USE) (<http://grupo.us.es/rilme/home>).

aprendizaje de los estudiantes, en el área de Organización de Empresas se han publicado diversos estudios, basados fundamentalmente en diferentes proyectos o experiencias docentes desarrollados en distintos contextos educativos. Novo-Corti et al. (2013) describen los resultados de una metodología mixta de evaluación (on line y tradicional) sobre la motivación y percepción de los alumnos implicados en el proyecto docente evaluado. Arenas-Márquez et al. (2012) describen como el desarrollo de una herramienta de aprendizaje por ordenador puede generar mejores resultados de los estudiantes, tanto en términos de pruebas objetivas de conocimiento, como en percepciones subjetivas del proceso de aprendizaje. Alfalla-Luque et al. (2011) analizan tres metodologías (enseñanza asistida por ordenador, seminario presencial y enseñanza a distancia tradicional) determinando su influencia en variables como motivación, dificultad percibida, comprensión de la materia y percepción del aprendizaje, mediante el análisis factorial y el análisis de la varianza. Para evaluar la experiencia de un entorno virtual de aprendizaje, Greasley et al. (2004) utilizan un cuestionario de enfoques e inventario de habilidades de los estudiantes (Approaches and Study Skills Inventory for Students, ASSIST). Otros estudios, en línea con lo explorado, son los de Castillo-Manzano et al. (2015), Rao (2015), Achcaoucaou et al. (2014), Guitart et al. (2014), Gessa et al. (2011), Sacristán-Díaz et al. (2010), Ruíz-Jiménez et al. (2010), Rubio-Hurtado et al. (2010), González-Zamora (2006) y Wild y Griggs (2002).

Además, al igual que en otros estudios realizados en el ámbito educativo, la mayoría de los indicadores utilizados para evaluar la eficacia de los procesos de integración de las TIC en el aprendizaje de los estudiantes, en algunos de los trabajos referidos anteriormente y en otros trabajos (Marshal et al., 2012; Ruíz-Jiménez et al., 2010b; Larson y Chung-Hsien, 2009; Sun y Cheng, 2007; Summers et al., 2005), se basan en los outputs del proceso enseñanza-aprendizaje (ratio de aprobados, rendimiento académico, etc.), en lugar de los procesos que crean esos resultados y productos (Grygoryev y Karapetrovic, 2005b). El problema con este enfoque es que los datos utilizados, en su mayoría, son agregados (por ejemplo, a nivel de facultad, departamento, universidad, etc.) y para intervalos de tiempo poco frecuentes (generalmente, al final de un semestre o de un curso académico), y que por lo general están disponibles demasiado tarde para responder de manera efectiva a un problema.

Por lo tanto, como señalan Agrawal y Khan (2008), para obtener una mejor calidad de la educación, junto con mejores resultados, el foco principal debe estar en los procesos, es decir, las actividades de enseñanza y aprendizaje dentro de un aula. De esta manera, la efectividad de los docentes, en función de los resultados del aprendizaje, depende de una serie de factores, tales como la calidad de la docencia, la capacidad de los estudiantes para aprender (competencias y habilidades), los factores humanos (motivación, interés, intención, disposición, etc.), la disponibilidad de recursos y el ambiente del aula.

Por todo lo expuesto, es necesario realizar el estudio de la calidad en entornos educativos desde otra perspectiva, enfocada no sólo en los resultados de los procesos, sino también en estos últimos, donde las TIC y la interacción de los estudiantes con el docente y los demás estudiantes se convierten en una de las principales fuentes de aprendizaje en las aulas universitarias. Esto implica utilizar otras metodologías de análisis y evaluación de los procesos de aprendizaje que complementen a las que tradicionalmente se han aplicado en este tipo de estudios y en línea con el proceso de reforma e innovación que la sociedad viene demandando a los centros educativos.

La aceptación de esta filosofía implica dar un paso decisivo y muy complejo en el que la aplicación de las técnicas de gestión de la calidad total -como base del proceso de mejora- tendrá un papel relevante (Fernández, 2001). Ello requiere tener en consideración a todos los participantes en el proceso, tanto a los alumnos como a los profesores.

En estas condiciones, se considera que el estudiante se comporta como el usuario de un servicio y que su nivel de satisfacción va a depender de parámetros equivalentes a los de cualquier otro servicio: el diseño del producto, el nivel de cumplimiento de las especificaciones, la forma de su presentación, etc. Por ello, es necesario conocer, en este caso, qué piensa el estudiante de la enseñanza que está recibiendo y cuáles son sus quejas, reclamaciones y sugerencias. De esta forma, se podrán realizar las modificaciones oportunas, que permitirán satisfacer sus necesidades actuales y futuras, y desarrollar una estrategia competitiva diferenciadora, basada en el logro de la calidad total y la excelencia (Fernández, 2001).

Ellos serán, en definitiva, los árbitros o jueces que manifiesten la satisfacción o insatisfacción con la prestación del servicio educativo que los centros desarrollan.

También determinarán si el proceso que se ha desplegado y planificado se puede evaluar de forma positiva o negativa según las evidencias acumuladas al final del mismo (Cantón et al., 2008).

Por tanto, la búsqueda de la calidad total en los procesos de aprendizaje no diferirá del proceso seguido en cualquier otra empresa (industrial o de servicio) que busque satisfacer a los consumidores de sus productos o usuarios de sus servicios, y por ello, dentro de este contexto, sería igualmente aplicable las técnicas y herramientas de gestión y control de la calidad, cuyo objetivo es ayudar a las organizaciones a medir la calidad de sus servicios y a planificar mejor sus procesos para llevar a cabo una mejora de sus productividad y servicio al cliente.

Debido a que el Control Estadístico de Procesos (CEP) (en inglés, Statistical Process Control, SPC) se centra en los procesos de medición (además de los resultados) y en la prevención (en lugar de la detección) de los problemas (Montgomery, 2001), al igual que se aplica para el control de procesos en otras organizaciones (tanto de los sectores industriales como de otros sectores de servicio), aquel se convierte en una buena alternativa para controlar y mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje y garantizar el cumplimiento de los objetivos de aprendizaje de una enseñanza basada en las competencias, que demanda el actual contexto educativo de estudios universitarios.

El CEP es un poderoso conjunto de herramientas utilizadas para resolver problemas, muy útil para conseguir la estabilidad y mejorar la capacidad del mismo proceso mediante la reducción de la variabilidad (Pérez, 1998). Entre sus herramientas principales, los gráficos de control de calidad permiten detectar la presencia de “causas asignables” en los procesos de producción o prestación de servicios para emprender acciones correctoras que eviten la prestación de servicios o fabricación de productos defectuosos. Mediante su aplicación, el instructor puede controlar su proceso de enseñanza en una base continua y actuar sobre las causas de la variación asignables al proceso de enseñanza-aprendizaje o al entorno en el que se llevan a cabo estos procesos (Grygoryev y Karapetrovic, 2005b).

No obstante, a pesar de ser el CEP una atractiva oportunidad y tener un alto potencial de aplicación en el ámbito educativo, pocos son los trabajos que abordan el estudio de la calidad en este contexto bajo dicho enfoque, a diferencia de lo que sucede en entornos productivos, donde tradicionalmente se ha aplicado,

y en otros sectores de servicio (banca, salud, turismo, etc.), cuya aplicación se ha extendido más recientemente (Yang et al., 2012; Utley y May, 2009; Sulek, 2004; MacCarthy y Wasusri, 2002).

Por los argumentos expuestos, parece oportuno adoptar un nuevo enfoque de la calidad, que requiere el uso de herramientas de gestión de la calidad, en apoyo de la filosofía de calidad total en un contexto de servicios educativos. Por tanto, encontramos en este campo una oportunidad de investigación, en la medida que nos permita profundizar en la aplicación del CEP para evaluar estrategias docentes en el nuevo contexto educativo. Ello nos permitirá, además de evaluar directamente y de forma subjetiva la opinión de los estudiantes, como en los estudios previamente referenciados, evaluar la calidad del proceso de integración de las nuevas estrategias docentes en los procesos de enseñanza-aprendizaje, bajo un enfoque de mejora continua y participación conjunta de profesores y estudiantes.

Tarea que abordamos en este trabajo de investigación, cuyo propósito general y objetivos exponemos a continuación, y que serán la guía en el proceso que desarrollemos y nos permitirán comprobar su grado de consecución a partir de los resultados obtenidos.

1.2. PROPÓSITO GENERAL Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Por todo lo expuesto anteriormente, consideramos una oportunidad centrar el proyecto de tesis doctoral que presentamos en la **aplicación del Control Estadístico de Procesos (CEP) para evaluar estrategias docentes y así controlar y mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje y garantizar el cumplimiento de los objetivos de aprendizaje de una enseñanza basada en las competencias**, que demanda el actual contexto educativo de estudios universitarios.

La consecución de tal propósito, requiere el establecimiento de diferentes objetivos⁶ que marcan el plan de trabajo desarrollado en el estudio que presentamos. Se trata de:

⁶Cada uno de los objetivos puede ser considerado de forma independiente, resultando su obtención imprescindible para la consecución del propósito general del trabajo.

Objetivo 1. Desarrollar el marco general teórico del CEP que sustente el desarrollo del trabajo empírico de la investigación

Como punto de partida de nuestra investigación nos planteamos recopilar la información necesaria que nos permita el establecimiento de los fundamentos teóricos básicos sobre CEP. Durante todo el proceso de recogida nos proponemos, así mismo, prestar una atención especial a aquellas cuestiones que puedan contribuir a un mayor conocimiento del campo objeto de estudio y para una correcta aplicación del mismo e interpretación de los resultados en general, y en el sector de educación, en particular. Ello implica, a nivel general, la consecución de los siguientes objetivos:

Subobjetivo 1.1. Determinar, desde el punto de vista teórico, el marco conceptual general y necesario para la comprensión y aplicación correcta de las técnicas de CEP.

Subobjetivo 1.2. Definir el proceso de diseño y aplicación de las técnicas de control de calidad, identificando todos los elementos que lo condicionan.

Subobjetivo 1.3. Identificar las diferentes opciones de representación gráfica de la variabilidad de los procesos, así como el desarrollo analítico necesario para su aplicación.

Subobjetivo 1.4. Determinar en qué casos y bajo qué condiciones, es más o menos eficiente la aplicación de los diferentes tipos de gráficos de control de calidad.

Y en el ámbito de sector educativo, la consecución del objetivo 1, implica, a su vez la consecución de otros subobjetivos, que por el propósito del trabajo, se agruparían en el objetivo 2, y que a continuación detallamos.

Objetivo 2. Determinar el estado de la cuestión de la aplicación del CEP en contextos educativos, y especialmente en el ámbito universitario.

Para la consecución del propósito general de nuestro trabajo, es fundamental establecer el estado de la cuestión sobre la aplicación del CEP en el ámbito educativo, en general, y en el universitario, en particular. Este objetivo nos permite ser fieles a la ortodoxia investigadora que exige, en primer lugar, determinar cuál es el estado actual del tema investigado.

Ello permitirá alcanzar los siguientes subobjetivos interrelacionados entre sí:

Subobjetivo 2.1. *Contextualizar la aplicación del CEP en el ámbito educativo, para poder identificar posibilidades y limitaciones.*

Las propias características del sector educativo, requiere de un cuidadoso estudio que permita identificar las principales líneas de investigación en este campo de estudio, así como las posibilidades y limitaciones de la aplicación del CEP en dicho sector. Asimismo, nos proporciona la base necesaria para el desarrollo de nuestro trabajo, identificando aspectos relevantes, tales como las principales diferencias con respecto a la aplicación en otros entornos de servicios o productivos, como por ejemplo, la relativa a las características de los datos empleados, las opciones de técnicas de control, el ámbito de aplicación, etc.

Subobjetivo 2.2. *Conocer el grado de expansión y la evolución de la investigación desarrollada en el campo objeto de estudio.*

Como en cualquier revisión bibliográfica, el estudio de las aplicaciones de las técnicas del CEP en contextos educativos, en periodos previos al inicio de este trabajo de investigación, nos permitirá conocer el avance y la evolución que ha experimentado, así como profundizar en los estudios realizados en este campo, en relación a todos aquellos aspectos a tener en consideración en la aplicación de las técnicas del CEP.

Subobjetivo 2.3. *Determinar la idoneidad de la técnica para nuestro caso objeto de estudio.*

La consecución de los subobjetivos anteriores es imprescindible para valorar la aplicación del CEP para evaluar estrategias docentes en el ámbito universitario, en general, y en nuestra investigación, en particular.

Objetivo 3. Proponer y aplicar el CEP como herramienta para mejorar la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje en las aulas universitarias.

Una vez establecidos los fundamentos teóricos, comenzaremos a dar los pasos necesarios para el diseño y desarrollo de un estudio empírico sobre el conocimiento y aplicación del CEP para mejorar las estrategias docentes que demanda el nuevo entorno educativo en asignaturas del área de Organización de

Empresas. Se trata de aplicar el CEP para evaluar la calidad del proceso de integración de las TIC en el desarrollo de la actividad docente, mediante el uso de un recurso didáctico -guía en soporte digital- diseñado y aplicado para la resolución de prácticas de una asignatura con un alto contenido práctico del área de Organización de Empresas.

Ello implica, a su vez, la consecución de los siguientes subobjetivos interrelacionados entre sí:

Subobjetivo 3.1. Contextualizar y delimitar el alcance de la estrategia docente objeto de evaluación.

Subobjetivo 3.2. Establecer las bases y los elementos necesarios para el diseño e implantación del proyecto docente.

Subobjetivo 3.3. Valorar, de manera general, la propuesta de aprendizaje diseñada e implantada, que se concretaría, a su vez, en determinar:

- Nivel de satisfacción de los estudiantes que han participado en el proyecto.
- Idoneidad y adecuación del recurso diseñado para la consecución de los objetivos de aprendizaje.
- Determinar en qué medida el uso del recurso didáctico ha ayudado a adquirir o mejorar diferentes competencias (autonomía, capacidad de análisis, uso de las TIC, etc.)

Subobjetivo 3.4. Aplicar y valorar la aplicación del CEP para controlar el proceso de aprendizaje derivado de la estrategia docente aplicada. Ello implicaría:

- Analizar la variabilidad del proceso de integración de las TIC en el desarrollo de la actividad docente en el contexto educativo diseñado para tal fin.
- Determinar si el proceso de aprendizaje está o no bajo control, que bajo la teoría de contraste de hipótesis, se trata de verificar si:

H_0 : el proceso está bajo control estadístico

H_1 : el proceso está fuera de control estadístico

- Analizar los resultados para detectar, si existen, posibles causas asignables de la variación del proceso de aprendizaje.
- Proponer áreas de mejora e intervención concreta en los puntos débiles detectados, a fin de conseguir una mejora en la realización de los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Subobjetivo 3.5. Aplicar el CEP para evaluar el nivel de satisfacción/insatisfacción de los estudiantes con el uso de las guías elaboradas para el desarrollo de los contenidos prácticos de la materia impartida, tanto a nivel general, como a nivel de las diferentes competencias desarrolladas en el proceso.

1.3. METODOLOGÍA

La consecución de los objetivos de este proyecto, implica el uso de una metodología que lógicamente, ha de comenzar con el establecimiento del marco teórico que sustente el diseño y la aplicación de la parte empírica del proyecto. Para ello ha sido preciso realizar una búsqueda y revisión de literatura, con el que hemos pretendido abarcar la bibliografía relativa a nuestro estudio con la máxima precisión posible, incluyendo diferentes fuentes documentales: bases de datos, libros, revistas, actas de congresos, información disponible en Internet y otros documentos de interés.

Esta búsqueda y revisión se ha realizado a dos niveles. En un primer nivel, se ha desarrollado en el campo de estudio en término general, esto es la información necesaria para alcanzar el objetivo 1 y sus correspondientes subobjetivos. Y en un segundo nivel, la correspondiente a la revisión bibliografía realizada en el ámbito objeto de nuestro estudio (ámbito educativo), que constituye el objetivo 2 y sus respectivos subobjetivos, y que por el alcance de la misma se aborda y se detalla específicamente en el Capítulo 3 del trabajo.

Finalizada la fase inicial de documentación, procedemos al análisis y estudio del contenido de la información localizada en la fase anterior, así como de los trabajos recopilados durante el proceso de ampliación de la documentación obtenida,

mediante el análisis de la bibliografía citada en las publicaciones y los trabajos localizados en investigaciones que hemos desarrollado previamente.

A continuación, nos centramos en la realización de la fase empírica del trabajo, con el propósito de aplicar el CEP para mejorar las estrategias docentes que demanda el nuevo entorno educativo en asignaturas del área de Organización de Empresas. Para ello se ha desarrollado un plan de trabajo, que se recoge de manera detallada en el Capítulo 4 y que se adelanta a continuación de manera resumida, en dos fases principales:

- Planteamiento del estudio empírico. En esta fase se procederá a la formulación de los objetivos de la investigación, la revisión de estudios que nos permitan ampliar el marco teórico desarrollado en la etapas anteriores, la determinación del alcance de la investigación y el diseño e implantación del proyecto docente objeto de evaluación.
- Recolección de datos, análisis y exposición de los resultados obtenidos. Para el desarrollo de esta fase, se ha utilizado un software específico para la recogida de información (Educlick™) y, para el tratamiento de los datos, los softwares estadísticos Minitab™ y Office 2010™ (Excel).

El estudio realizado, bajo el marco teórico diseñado, nos permitirá obtener unos resultados, cuyo análisis y discusión comprende la última fase de la metodología seguida en esta investigación, que se completará con las conclusiones e implicaciones de las mismas.

1.4. CONTENIDO Y ESTRUCTURA DEL TRABAJO

Para la consecución del propósito general y de los objetivos descritos en el Apartado 1.2, siguiendo la metodología propuesta en el Apartado 1.3, hemos estructurado el contenido del presente trabajo en 4 partes, que agrupan un total de 5 capítulos.

En la **Parte I** donde se incluye el **Capítulo 1**, exponemos los motivos que nos han llevado a su realización, así como el propósito general y los objetivos que perseguimos, la metodología empleada y el contenido y la estructura del mismo, aspectos éstos a los que ahora dedicamos nuestra atención.

En la **Parte II**, que incluye los **Capítulos 2 y 3**, presentamos el marco teórico de nuestro trabajo. Dedicamos el **Capítulo 2** a establecer el marco general teórico suficiente para permitirnos conocer los conocimientos necesarios de las técnicas del CEP para una correcta aplicación en el ámbito objeto de nuestro estudio.

Por su parte, en el **Capítulo 3**, nos centramos en la aplicación del CEP en el ámbito universitario. Para ello, realizamos un estudio bibliográfico, que comprende el estudio de publicaciones periódicas de carácter académico y científico a nivel internacional, en el periodo 1995-2015. En este capítulo exponemos la metodología seguida, el proceso de selección de documentos desarrollado, y por último la exposición de los resultados.

La **Parte III** del trabajo corresponde a la parte empírica del estudio, que ocupa el **Capítulo 4**. Así pues, una vez definido el marco teórico del estudio y tras haber justificado la aplicación del CEP en el ámbito universitario, dedicamos este capítulo a la consecución del objetivo 3 de este trabajo, esto es, proponer y aplicar el control estadístico de procesos como herramienta para mejorar la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje en las aulas universitarias.

Por último, en la **Parte IV** del trabajo se incluye el **Capítulo 5**, que recoge las principales conclusiones que se han obtenido en el estudio realizado, tratando de dar respuesta a las razones y objetivos que justifican la realización de la presente Tesis Doctoral. Asimismo, se presentan las principales aportaciones y limitaciones de la misma y las futuras líneas de investigación, que podrían darle continuidad al trabajo desarrollado.

En todos los Capítulos incorporamos la bibliografía consultada y referenciada en cada uno de ellos.

Además, en la última parte del trabajo añadimos dos Anexos, cuya información complementan el contenido de este trabajo y que puede ser de interés para la consulta del lector. El Anexo del Capítulo 3 recoge, de manera detallada, los resultados registrados de la revisión bibliográfica realizada en dicho capítulo y, en el Anexo del Capítulo 4 se presenta, el cuestionario utilizado para recabar la información necesaria para el desarrollo del estudio y parte de los resultados obtenidos en la parte empírica de este trabajo.

Para finalizar esta Parte I, en la Figura 1.1 sintetizamos la estructura y contenido referidos con cada uno de los capítulos, objetivos y fases en las que se aborda.

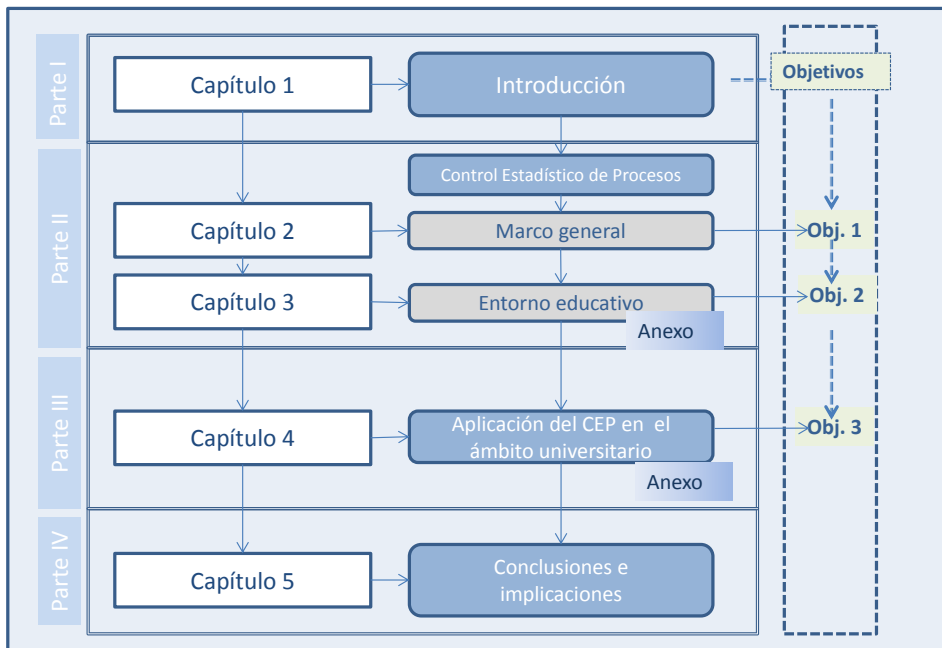


Figura 1.1. Estructura y contenido de la investigación
Fuente: elaboración propia

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Achcaoucaou, F., Guitart-Tarrés, L., Miravittles-Matamoros, P., Núñez-Carballosa, A., Bernardo, M. y Bikfalvi, A. (2014). Competence assessment in higher education: A dynamic approach. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 24 (4), 454-467.

Agrawal, D.K. y Khan, Q.M. (2008). A quantitative assessment of classroom teaching and learning in engineering education. *European Journal of Engineering Education*, 33 (1), 85-103.

Alfalla-Luque, R., Medina-López, C. y Arenas-Márquez, F.J. (2011). Mejorando la formación en Dirección de Operaciones: la visión del estudiante y su respuesta ante diferentes metodologías docentes”. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 14, 40-52.

Arenas-Márquez, F.J., Machuca, J.A. y Medina-López, C. (2012). Interactive learning in operations management higher education: Software design and experimental evaluation. *International Journal of Operations & Production Management*, 32 (12), 1395-1426.

Bates, A.W. (2000). *Managing Technological Change. Strategies for College and University Leaders*, Jossey-Bass, San Francisco, CA.

Brew, C., Riley, P. y Walta, C. (2009). Education students and their teachers: Comparing views on participative assessment practices. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 34 (6), 641-657.

Bushell, G. (2006). Moderation of peer assessment in group projects. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 31 (1), 91-108.

Cantón, I., Valle, R.E. y Arias, A.R. (2008). Calidad de la docencia universitaria: procesos clave. *Educatio Siglo XXI*, nº 26, 121-160.

Castillo-Manzano, J.I., Castro-Nuño, M., Sanz Díaz, M.T. y Yñiguez, R. (2015). Does pressing a button make it easier to pass an exam? Evaluating the effectiveness of interactive technologies in higher education. *British Journal of Educational Technology*. doi: 10.1111/bjet.12258

EduClick, sistema de docencia presencial basado en mandos electrónicos de respuesta. Disponible: <http://www.educlick.es/>. Fecha último acceso: mayo 2014.

Fernández, E. (2001). ¿Cuál es el papel del alumnado dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje en la universidad? *Revista de Educación*, 325, 201-217.

Gessa, A., García, S., Rabadán, I., Jiménez, A. y Sancha, P. (2011). Resolución guiada de prácticas de Dirección de Operaciones. Desarrollo y evaluación de competencias, II Congreso Internacional de Docencia Universitaria, Universidad de Vigo.

González-Zamora, M.D.M. (2006). Algunas necesidades en la enseñanza en administración y dirección de empresas: de la teoría a la práctica a través de las TIC. *Pixel-Bit: Revista de medios y educación*, (27), 59-77.

Greasley, A., Bennett, D. y Greasley, K. (2004). A virtual learning environment for operations management: Assessing the student's perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, 24 (10), 974-993.

Grygoryev, K. y Karapetrovic, S. (2005). An integrated system for educational performance measurement, modeling and management at the classroom level. *The TQM Magazine*, 17 (2), 121-136.

Guerra, M. A. (2000). *La escuela que aprende*. Ediciones Morata, Madrid.

Guitart, L., Núñez, A., Miravittles, P., Bernardo, M., Cruz, C., y Achcaoucaou, F. (2014). Students competences in Business Administration subjects. *International Journal on Advances in Education Research*, 1 (2), 1-20.

Hamodi, C., López-Pastor, V.M. y López-Pastor, A.T. (2015). Medios, técnicas e instrumentos de evaluación formativa y compartida del aprendizaje en educación superior. *Perfiles Educativos*, 37 (147), 146-161.

Kirkwood, A. (2009). E-learning: "you don't always get what you hope for". *Technology, Pedagogy and Education*, 18 (2), 107-121.

Larson, D. y Chung-Hsien, S. (2009). Comparing student performance: online versus blended versus face-to-face. *Journal of Asynchronous Learning Networks*, 13 (1), 31-42.

Löfström, E. y Nevgi, A. (2007). From strategic planning to meaningful learning: diverse perspectives on the development of web-based teaching and learning in higher education. *British Journal of Educational Technology*, 38 (2), 312-324.

- López-Pérez, M.V., Pérez-López, M.C. y Rodríguez-Ariza, L. (2011). Blended learning in higher education: students' perceptions and their relation to outcomes, *Computers & Education*, 56, 818-26.
- Ma, L., Vogel, D. y Wagner, C. (2000). Will virtual education initiatives succeed?. *Information Technology and Management*, 1 (4), 209-227.
- MacCarthy, B.L. y Wasusri, T. (2002). A review of non-standard applications of statistical process control (SPC) charts. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 19 (3), 295-320.
- McCray, G.E. (2000). The hybrid course: merging on-line instruction and the traditional classroom. *Information Technology and Management*, (1) 4, 307-327.
- Marshall, L.L., Valdosta, G. y Varnon, A.W. (2012). An empirical investigation of clicker technology in Financial Accounting Principles. *Learning in Higher Education*, 8(1) 7-17.
- Martín, M.M. y Junyent, M.V. (2008). Reflexiones sobre aprendizaje y docencia en el actual contexto universitario. la promoción de equipos docentes. *Revista De Educación*, 34 (6), 641-657.
- Martínez, P. y Echeverría, B. (2009). Formación basada en competencias. *Revista De Investigación Educativa*, 27 (1), 125-147.
- Martín-Peña, M.L., Díaz-Garrido, E. y del Barrio-Izquierdo, L. (2012). Metodología docente y evaluación por competencias: Una experiencia en la materia dirección de producción. *Investigaciones Europeas De Dirección y Economía De La Empresa*, 18 (3), 237-247.
- Minitab® 17 Statistical Software.
- Montgomery, D. C. (2001). Introduction to Statistical Quality Control, 6th ed., Wiley, New York.
- Novo-Corti, I., Varela-Candamio, L. y Ramil-DíAz, M. (2013). E-learning and face to face mixed methodology: Evaluating effectiveness of e-learning and perceived satisfaction for a microeconomic course using the Moodle platform. *Computers in Human Behavior*, 29 (2), 410-415.
- Pérez, C. (1998). Control estadístico de la calidad. Rama Editorial, Madrid.

Piccoli, G., Ahmad, R. y Ives, B. (2000). Knowledge management in academia: A proposed framework. *Information Technology and management*, 1 (4), 229-245.

Rabadán-Martín, I. y García-González, S. (2008). Desarrollo de un software para la aplicación de una técnica de planificación detallada de capacidad alternativa a CRP. *Estableciendo Puentes En Una Economía Global / Coord. Por Julio Pindado García, Gregory Payne, (Ponencias) (p. 1). Escuela Superior De Gestión Comercial y Marketing.*

Rao, M. (2015). The effectiveness of a web-based homework and testing software for operations management. *International Journal of Services and Standards*, 10 (4), 240-252.

Rodríguez-Gómez, G., Ibarra-Sáiz, M. y García-Jiménez, E. (2013). Autoevaluación, evaluación entre iguales y coevaluación: Conceptualización y práctica en las universidades españolas. *Revista De Investigación En Educación*, 11 (2), 198-210.

Rubio-Hurtado, M. J., García-Durán, P. y Millet, M. (2010). Evaluación continua a través de Moodle para involucrar al alumnado en su proceso de aprendizaje. *REIRE. Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 3 (1), 46-65.

Ruiz-Jiménez, A., Hernández-Ceballos, C. y García-Gragera, J.A. (2010). Utilización de un sistema de respuesta interactiva como herramienta contra el absentismo en la Universidad. En *El absentismo en las aulas universitarias: el caso de la Escuela Universitaria de Estudios Empresariales* (pp. 179-191). Grupo Editorial Universitario (GEU Editorial).

Ruiz-Jiménez, A., Ceballos-Hernández, C., García-Gragera, J.A. y Chávez-Miranda, M.E. (2010), "Una experiencia de evaluación continua en un entorno masificado", en Jiménez- Caballero, J.L. y Rodríguez Díaz, A. (Eds), *Nuevas enseñanzas de grado en la Escuela Universitaria de Estudios Empresariales de la Universidad de Sevilla*, Grupo Editorial, Sevilla, 279-94.

Sacristán-Díaz, M., Garrido-Vega, P., Luque-Alfalla, R. y González-Zamora, M. (2010). De la evaluación sumativa a la formativa a través de las plataformas de enseñanza virtual. En *Nuevas formas de docencia en el área económico-empresarial* (151-167). Edición Digital@ Tres.

- Selwyn, N. (2007). The use of computer technology in university teaching and learning: a critical perspective. *Journal of computer assisted learning*, 23 (2), 83-94.
- Stensaker, B., Maassen, P., Borgan, M., Oftebro, M. y Karseth, B. (2007). Use, updating and integration of ICT in higher education: Linking purpose, people and pedagogy. *Higher education*, 54 (3), 417-433.
- Sulek, J. M. (2004). Statistical quality control in services. *International Journal of Services Technology and Management*, 5 (5-6), 522-531.
- Summers, J.J., Waigandt, A. y Whittaker, T.A. (2005). A comparison of student achievement and satisfaction in an online versus a traditional face-to-face statistics class", *Innovative Higher Education*, 29 (3) 233-250.
- Sun, P. y Cheng, H.K. (2007). The design of instructional multimedia in e-learning: a media richness theory-based approach. *Computers & Education*, 49 (3), 662-676.
- Tang, T.L.P. y Austin, M.J. (2009). Students' perceptions of teaching technologies, application of technologies, and academic performance. *Computers & Education*, 53 (4), 1241-1255.
- Utley, J.S. y May, G. (2009). Monitoring service quality with residuals control charts. *Managing Service Quality: An International Journal*, 19 (2), 162-178.
- Wang, Q. (2008). A generic model for guiding the integration of ICT into teaching and learning. *Innovations in Education and Teaching International*, 45 (4), 411-419.
- Webb, H.W., Gill, G. y Poe, G. (2005). Teaching with the case method online: pure versus hybrid approaches, *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 3 (2), 223-50.
- Wild, R.H. y Griggs, K.A. (2002). Collaborative telelearning: An experiment in remote project management. *E-Service Journal*, 1 (2), 25-39.
- Yang, S., Cheng, T., Hung, Y. y Cheng, S. (2012). A new chart for monitoring service process mean. *Quality and Reliability Engineering International*, 28, 377-386.

Capítulo 2

Los gráficos de Control Estadístico de Procesos (CEP)

Los gráficos de Control Estadístico de Procesos (CEP)

Desde que Shewhart empezó a utilizar los gráficos de control en los años veinte, su uso se ha extendido y sus aplicaciones se han adaptado, según los objetivos a alcanzar y las características de las variables a controlar.

En esta parte del trabajo de investigación realizamos una revisión de los diferentes gráficos de control, después de presentar unas consideraciones generales, imprescindible para una correcta aplicación e interpretación de los resultados obtenidos en el desarrollo y aplicación de los diferentes gráficos de control, en distintos ámbitos de aplicación.

2.1. INTRODUCCIÓN

Los procesos de producción de bienes y de prestación de servicios deben contar con mecanismos de gestión y control, que permitan el desarrollo de procesos de mejora en las organizaciones, para poder minimizar los costes de reelaboraciones, reparaciones, devoluciones, deshechos, reclamaciones, etc., garantizando su competitividad y productividad (Juran Y Gryna, 1988).

Bajo esta premisa, han sido numerosas las técnicas y herramientas que han sido desarrolladas e implementadas para tomar acciones de mejora (correctivas y preventivas) en las organizaciones de todo tipo, entre las que se incluye el control estadístico de procesos, que puede ser definido en términos generales, como *“los métodos estadísticos y de ingeniería que se utilizan en la medición, monitorización, control y mejora de la calidad y por tanto, muy útil para conseguir la estabilidad y mejorar la capacidad de los procesos mediante la reducción de la variabilidad”* (Montgomery, 2001).

Aunque el origen del control de calidad se remonta al siglo XVIII, no es hasta 1920 cuando Shewhart introduce los gráficos de control como una de las siete herramientas de CEP, que sirvieron como base para que Edward Deming (1986) desarrollara posteriormente toda una filosofía de gestión de la calidad con base en "14 puntos", los cuales establecen, entre otras cosas, que con un clima organizacional apropiado, los métodos estadísticos de mejora de procesos pueden reducir la variación a que se refería Shewhart, reduciendo al mismo tiempo los costes de producción, mejorando la imagen de la organización, así como su situación financiera. Estas ideas fueron tomadas en las décadas de 1950 y 1960 por los fabricantes japoneses, lo que provocó una invasión mundial de sus productos con buena calidad. No fue sino hasta la década de 1970 cuando los fabricantes estadounidenses retomaron las ideas que Deming había enseñado a los fabricantes japoneses para elaborar productos de buena calidad.

Joseph Juran, otro pensador de los problemas de la calidad de los productos, también fue reconocido por las empresas japonesas y junto con Deming establecieron los principios de lo que hoy conocemos como el control estadístico de calidad.

Walter Shewhart, en la empresa Bell Telephone, desarrolló las bases para el control de procesos, mediante la aplicación de los denominados “gráficos de

control” o “gráficos de Shewhart”. A través de ellos, identificaba y analizaba las causas de la variabilidad de los procesos, diferenciando entre dos tipos de posibles causas (Amor et al., 2005):

- Causas naturales o fortuitas: son las responsables del grado de variabilidad inherente o natural de los procesos (*ruido de fondo*). Esta variabilidad natural es el efecto acumulado de muchas pequeñas causas, generalmente incontrolables y debidas al azar.
- Causas atribuibles: son aquellas que no forman parte de la variabilidad natural del proceso, como pueden ser un desajuste de las máquinas, errores del trabajador, defectos en las materias primas, etc. Son causas externas identificables, que se pueden descubrir y evitar en el futuro. Generalmente, la variabilidad provocada por las causas atribuibles es mayor que la provocada por las causas naturales.

Cuando el ruido de fondo de un proceso es relativamente pequeño, suele considerarse correcto el funcionamiento del proceso. Por tanto, un proceso, cuya variabilidad en el funcionamiento sólo está influenciada por causas naturales, se considera *bajo control estadístico*. Por el contrario, un proceso que funciona en presencia de causas atribuibles se considera *fuera de control*.

Así pues, uno de los principales objetivos del control estadístico de procesos es detectar rápidamente las causas atribuibles, a fin de que se puedan analizar y corregir apropiadamente antes de que aparezcan muchos elementos que no cumplan las especificaciones. Para ello, una herramienta básica es la construcción de gráficos de control que establecen el recorrido de las variaciones que no es probable que se produzcan por azar; por lo que cualquier variación que se produzca dentro de este recorrido se debe a una causa externa que hay que identificar.

Desde que Shewhart empezará a utilizar los gráficos de control en los años veinte, su uso se ha extendido y sus aplicaciones se han adaptado, según los objetivos a alcanzar y las características de las variables a controlar (número y tipo de variables, tipo de relación, distribución, etc.). Así pues, los primeros gráficos de control propuestos por Shewhart se caracterizaban por ser univariados (se controla una sola variable de la calidad), diferenciándose dos grupos: los gráficos de control por variables, que representan características de la calidad que son

medibles y los gráficos por atributos, que se aplican para características de calidad de carácter cualitativo (no conformidad de una característica de la calidad).

Posteriormente se han incorporado nuevos gráficos de control, también dentro de los univariados y para variables cuantitativas, que consideran la dependencia en el tiempo para detectar pequeñas variaciones en el proceso. Es el caso del propuesto por Page (1954), denominado gráfico de sumas acumuladas (en inglés, Cumulative Sum Control Chart, CUSUM) y el introducido por Roberts (1959), denominado gráfico de promedios móviles exponencialmente ponderados (en inglés, Exponentially Weighted Moving Average, EWMA). Estos gráficos van acumulando información obtenida de las muestras anteriores y de esta manera poder detectar de forma más rápida pequeños cambios en el proceso.

Por otro lado, la principal aportación en el caso de control multivariante (cuando se controlan diversas variables relacionadas con la calidad) fue la realizada por el Profesor Harold Hotelling (1947), quien propuso un gráfico de control multivariante basado en la distancia de Mahalanobis (1936). Es el denominado gráfico de control T^2 de Hotelling, el cual monitoriza la distancia entre el vector de promedios esperado y el vector de promedios observados, considerando su matriz de covarianzas y que utiliza un límite de control, que indica si la distancia entre los dos vectores es lo suficientemente grande para declarar al proceso como fuera de control.

Posteriormente, en este mismo campo surgen nuevas aportaciones, tales como la realizada por Lowry et al. (1992), a través de la extensión del gráfico de control EWMA para el caso multivariante (MEWMA), y la de Crosier en 1988 del gráfico de control de sumas acumuladas MCUSUM⁷.

Por otro lado, para el caso de datos correlacionados, son varias las alternativas propuestas, para una correcta aplicación e interpretación de los gráficos de control de la calidad (Oakland, 2007; Ferrer, 2004).

A continuación, realizamos una revisión de los diferentes gráficos de control, después de presentar unas consideraciones generales, imprescindible para una correcta aplicación e interpretación de los resultados obtenidos en el desarrollo y aplicación de los diferentes gráficos de control, en distintos ámbitos de aplicación.

⁷ Estos gráficos multivariantes están sujetos al supuesto de normalidad multivariada, que podría ser una limitación para los casos donde la hipótesis sobre la distribución impuesta para estos modelos paramétricos multivariantes no se cumpla.

2.2. LOS GRÁFICOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

Como se ha resaltado anteriormente, el objetivo perseguido por el CEP es reducir la variabilidad y controlar y mejorar los procesos mediante el tratamiento estadístico de los datos recopilados de un proceso. De ahí que se considere el CEP como un conjunto de herramientas para resolver problemas que se puede aplicar a cualquier proceso. Las principales herramientas del CEP son (Ishikawa, 1985): diagrama de Pareto, histograma, diagrama causa-efecto o diagrama Ishikawa, diagrama de dispersión, hoja de chequeo, análisis por estratificación y gráficos de control.

Por el objetivo de nuestro trabajo, nos centraremos en los gráficos de control de calidad, a cuyo estudio dedicamos este apartado, incluyendo algunas consideraciones generales, que permitan profundizar en su uso y aplicación en diferentes ámbitos.

2.2.1. Consideraciones generales

Para poder controlar la implantación de la calidad en los procesos, previamente se deben establecer las características de la calidad sobre las que se realizará un seguimiento a través de los gráficos de control. Estas pueden ser de dos tipos (Cuatrecasas, 2005, p. 251):

- a) Variables, que son características medibles y cuantitativas.
- b) Atributos, que son características no medibles ni cuantificables (son, pues de carácter cualitativo). Éstas sólo pueden tener dos valores: aceptable o defectuoso.

De esta manera, la variación de una característica de calidad puede cuantificarse obteniendo muestras de las salidas de un proceso y estimando los parámetros (medias, frecuencias, rango, desviación típica, etc.) de su distribución estadística (Juran y Gryna, 1988). La representación de esos parámetros en un gráfico de control, en función de la posición o del tiempo, permitirá la comprobación de los cambios en la distribución.

Así pues, se definen los gráficos de control como *“la representación gráfica de una característica de calidad que se ha medido o calculado a partir de una muestra,*

en función del número de muestras o el tiempo” (Montgomery, 2005), de manera que la variabilidad de una característica de la calidad puede ser analizada con base en la salida del proceso, estimando los parámetros de su distribución estadística (Juran y Gryba, 1988). Los gráficos, diagramas o cartas de control permiten detectar la variación sistémica generada en un proceso de producción o en la prestación de un servicio, con el objetivo de poder ser identificada y corregida antes de que ésta produzca una gran cantidad de partes, productos o servicios defectuosos.

En línea general, como se muestra en la Figura 2.1, el gráfico de control cuenta con una línea central que representa el valor promedio o deseado de la característica de la calidad de interés y con dos límites de control⁸ (superior e inferior), que basados en la variación estadística del proceso, pueden ser determinados como la media más o menos tres desviaciones estándar del parámetro ($VC \pm 3\sigma$). El espacio entre ambos límites define la variación aleatoria del proceso. Por tanto, los puntos que exceden estos límites indicarían la posible presencia de causas específicas de variación.

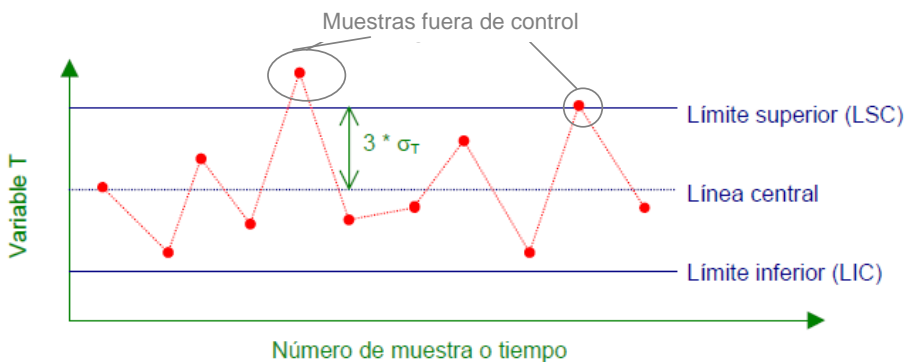


Figura 2.1. Representación gráfica de la variabilidad de un proceso (gráfico de control)
Fuente: elaboración propia

⁸ La construcción general de los límites de control propuesta por Shewhart establece límites de control equidistantes. Sin embargo, estudiaremos también algunos gráficos de control en los que no sigue la filosofía de este autor y los límites no se sitúan a la misma distancia de la línea central.

Así pues, si el estimador del parámetro a estudiar se distribuye como una normal, o se asume bajo la aplicación del Teorema del Límite Central para el estadístico representado o tras aplicar las transformaciones matemáticas correspondientes en cada caso, aproximadamente el 99,73% de todos los valores estarán dentro de la zona delimitada por los límites de control (Juran y Gryna, 1988), siendo por tanto, la fórmula general de los límites de control para elaborar un gráfico de control de la calidad la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Límite de control Superior (LCS)} &= \mu_w + k\sigma_w \\ \text{Línea Central (LC)} &= \mu_w - k\sigma_w \\ \text{Límite de control Inferior (LCI)} &= \mu_w \end{aligned} \quad [2.1]$$

donde μ_w y σ_w representan el promedio y la desviación estándar respectivamente de la característica de la calidad W que se está analizando, y k es una constante que determina la distancia de las líneas de control a la línea central.

Cuando la media y la desviación típica de los estadísticos no son conocidas, los límites se estiman a partir de m muestras y se definen en términos de dichas estimaciones, los que se conocen como límites de prueba. Éstos permiten comprobar si el proceso estaba bajo control cuando se obtuvieron las m muestras iniciales, comprobando que todos los puntos están dentro de los límites de control y no se manifiesta un comportamiento sistemático (el proceso estaba bajo control en el pasado), y por tanto, los límites de control de prueba son adecuados para controlar la producción actual y futura (son adecuados para evaluar el comportamiento del proceso con respecto a la distribución de referencia).

En cualquier caso, el gráfico de control puede interpretarse en términos de la teoría de contraste de hipótesis, según la cual, los puntos que se encuentran entre los límites de control apoyan la hipótesis nula de que el proceso está bajo control (H_0); y por el contrario, los puntos muestrales fuera del intervalo delimitado por los límites de control apoyan la hipótesis alternativa de que el proceso está fuera de control (H_1).

Así pues, la probabilidad de error tipo I (α) se define como la probabilidad de concluir que el proceso está fuera de control, cuando en realidad no lo está, y por otro lado, la probabilidad de error tipo II (β) se define entonces como la

probabilidad de concluir que el proceso está bajo control, cuando en realidad está fuera de control.

Para completar el estudio, es necesario además obtener información sobre la capacidad de proceso, que mide la frecuencia con que los productos que se obtienen de un proceso cumplen con las especificaciones y, por tanto, si la variabilidad de la característica, cuya capacidad se trata de evaluar, figura entre los *límites de tolerancia establecidos* (Cuatrecasas, 2005). Éstos son los valores de una determinada característica de calidad que permiten distinguir los valores correctos e incorrectos de la misma y normalmente son fijados por el consumidor, el fabricante, etc. En definitiva, el análisis de la capacidad del proceso mide la aptitud de un proceso para producir unidades dentro del intervalo de tolerancia previamente definido.

Bajo el supuesto de normalidad de los procesos que están bajo control estadístico, la característica de calidad del 99,73% de los elementos fabricados estará comprendida en el intervalo ($\mu \pm 3\sigma$). El parámetro μ depende del punto en el que centremos el proceso. Sin embargo, σ depende del número y variabilidad de las causas comunes del proceso y por lo tanto, es intrínseca a él. Por lo tanto, 6σ es la *variabilidad natural* del proceso o capacidad del proceso.

Así pues, para comparar la capacidad del proceso y el intervalo de tolerancia, según el caso, se utilizan diferentes índices de capacidad:

a) Índice de capacidad potencial del proceso (C_p): que mide la relación que existe entre los límites de *tolerancia superior (LTS)* e *inferior (LTI)* establecidos y la variabilidad natural del proceso:

$$C_p = \frac{LTS - LTI}{6\sigma} \quad 2.2$$

Así, si $C_p < 1$, es una señal de la incapacidad del proceso para producir unidades dentro de un intervalo de tolerancia previamente definido.

b) Índice de capacidad real del proceso (C_{pk}): que evalúa cuál es la relación que se tiene en cuanto al estado del proceso tal como se encuentra ahora, a través del valor medio que toma la característica de calidad con respecto a los *límites de tolerancia establecidos*. Así pues, para cada límite especificado se tienen dos

valores C_{pk} , de tal forma que, cada uno relaciona la diferencia entre la media del proceso con el límite de tolerancia superior e inferior respectivamente, con respecto a la mitad de variación normal del proceso, 3σ . La capacidad real del proceso es entonces el mínimo de los dos valores siguientes (Oakland, 2007):

$$C_{pk} = \text{Mínimo} \frac{LTS - X}{3\sigma}, \frac{LTI - X}{3\sigma} \quad 2.3$$

Así, si $C_{pk} \leq 1$, indica que la variación del proceso y su valor central ha excedido al menos uno de los límites de control de tolerancia y, por tanto, es señal de que el proceso es incapaz de producir dentro de los límites de tolerancia.

2.2.2. Diseño y construcción de un gráfico de control: etapas y aspectos a considerar

Una vez introducidos los gráficos de control, así como algunos conceptos previos, presentamos en este apartado, en líneas generales, el proceso de diseño y construcción de un gráfico de control de calidad.

Tal y como se muestra en la Figura 2.2, son varios los aspectos relacionados a tener en cuenta a la hora de aplicar un gráfico de control. Ello implica el diseño y desarrollo de un riguroso proceso con diferentes etapas.

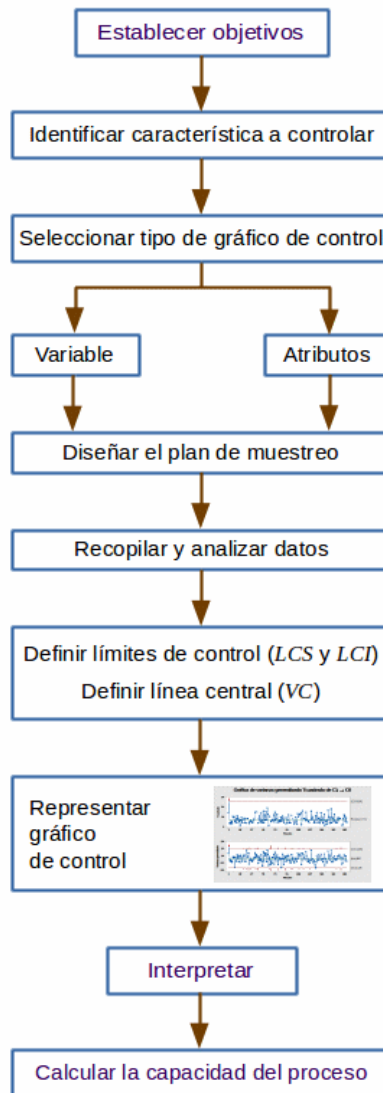


Figura 2.2. Diseño y construcción de los gráficos de control
Fuente: elaboración propia

1ª. Establecimiento de los objetivos del control de la calidad

La finalidad de esta etapa es establecer qué se desea conseguir con el control de la calidad.

Este paso, es uno de los factores de éxito de la implementación del CEP, ya que es parte del adecuado entendimiento del problema. Es importante establecer y dejar claro el por qué se va a implementar el uso de los gráficos de CEP y las expectativas sobre los posibles resultados de su aplicación.

Aunque el objetivo último de la aplicación del CEP es reducir la variación no deseada del proceso y conseguir un estado bajo control estadístico, MacCarthy y Wasusri (2002), identifican cuatro posibles objetivos de implementación:

1. Monitorizar el proceso: es el objetivo más extendido en la práctica por ser la aplicación convencional y se define en términos de monitorizar y controlar un proceso, con el fin de reducir la variabilidad del mismo, una vez que se ha logrado tener el proceso bajo control estadístico. En muchos casos este uso se enmarca dentro de un programa de mejora continua.
2. Planificar o hacer un seguimiento de planes: en este caso, el objetivo de aplicación es, generalmente, monitorizar la variación temporal en la ejecución de planes y cronogramas. En este sentido, Katter et al. (1998) proponen el uso de un gráfico de control tradicional para controlar las condiciones técnicas de un equipo laser, con el fin de establecer un plan de mantenimiento preventivo para los electrodos.
3. Evaluar la satisfacción del cliente: esta constituye una aplicación ampliamente utilizada en el campo de los servicios. Su objetivo principal es detectar altos niveles de satisfacción o insatisfacción en los clientes para facilitar los procesos de mejora.
4. Realizar estimaciones: en este caso, el principal objetivo de la aplicación del CEP es obtener un modelo capaz de proveer estimaciones adecuadas y monitorizar la estabilidad del modelo derivado. En estos casos, la aplicación se basa en los residuos de un modelo de regresión lineal y por tanto, su aplicación es algo más compleja que en los casos anteriores.

2ª. Identificación de la característica a controlar

Es necesario determinar qué característica de la calidad (variable o atributo) del producto, servicio o proceso se van a controlar para conseguir satisfacer las

necesidades de información establecidas en la etapa anterior. Así, la característica a medir, deberá ser una medida objetiva acerca de las especificaciones de la calidad del producto, servicio o proceso a controlar.

3ª. Selección del tipo de Gráfico de Control

En esta etapa del proceso, además de considerar la característica de la calidad identificada en la etapa anterior, es necesario considerar aspectos tales como: número de variables a considerar, existencia de correlación entre variables, características del proceso, recursos disponibles, tamaño de muestra, etc.

En el Apartado 2.3 se abordan de manera detallada los diferentes gráficos de control de calidad.

4ª. Elaboración del plan de muestreo

Para la aplicación de los gráficos de control es necesario definir el tamaño de la muestra y la frecuencia del muestreo, seleccionados de tal manera que se puedan identificar cambios en el proceso, considerando subgrupos racionales (muestras) que provengan de la misma distribución, definidos por Montgomery (2005) como *“una muestra aleatoria de toda la producción del proceso sobre el intervalo de muestreo”*.

Las muestras deben tomarse, de tal forma que si la causa asignable está presente, la probabilidad de aparición de diferencias significativas dentro de los subgrupos se minimice. Es decir, los subgrupos deben elegirse de forma que tengan la máxima probabilidad de que las mediciones realizadas en cada subgrupo sean semejantes y la máxima probabilidad de que los subgrupos se diferencien entre sí⁹. El principal esfuerzo ha de centrarse en garantizar que las unidades de cada subgrupo se producen, esencialmente, bajo las mismas condiciones.

Los subgrupos se realizan agrupando las mediciones de tal modo que haya la máxima variabilidad entre subgrupos y la mínima variabilidad dentro de cada subgrupo¹⁰.

⁹ Cuando los gráficos de control se aplican a los procesos de producción, el orden de producción será una base lógica para el agrupamiento en subgrupos racionales. Aun cuando se respete el orden de producción es posible formar subgrupos erróneamente.

¹⁰ Por ejemplo, si se toman unas observaciones de una muestra al final de un turno y las restantes al comienzo del siguiente, entonces podrían no ser detectados algunos cambios.

Por otro lado, el tamaño y la frecuencia de muestreo dependerán, en general, del cambio en el proceso que se quiera detectar. Las muestras grandes permiten detectar más fácilmente cambios pequeños, mientras que las muestras pequeñas se emplean para la detección de cambios grandes. No obstante, lo deseable sería extraer muestras pequeñas — siempre y cuando éstas fuesen representativas — para intervalos largos de tiempo, es decir, con menor frecuencia, o bien muestras grandes con mayor frecuencia. El inconveniente es que esto supone un elevado costo económico y temporal. Por tanto, se opta por extraer muestras de mayor tamaño con menor frecuencia o bien, muestras pequeñas poco espaciadas en el tiempo, distribuyendo de esta forma el esfuerzo y el coste de muestreo.

5ª. Recogida de los datos según el plan establecido

Los datos recogidos constituyen la base para el análisis y la toma de decisiones, por tanto, si los datos no se recogen de forma cuidadosa y sistemática, éstos no podrán ser analizados y utilizados eficientemente.

Los datos deben estar recopilados de tal forma que, posibiliten una adecuada estimación de la magnitud de las variaciones del proceso sometido a control y nos permiten hacer un diagnóstico del estado actual del proceso. Aspectos tales como formato, unidades de medición, registros de datos, etc. deben ser considerados en esta fase del proceso.

6ª. Selección de los Límites de Control

Para especificar los límites de control (superior e inferior) se ha de tener en cuenta lo siguiente:

- Si dichos límites se alejan de la línea central, se reduce el riesgo de cometer error de tipo I, puesto que será menos probable que un punto caiga fuera de los límites cuando el proceso está fuera de control estadístico; sin embargo, el riesgo de cometer error de tipo II se incrementa, ya que los puntos que deberían estar fuera de los límites de control (nótese que el proceso está fuera de control) ahora quedarán dentro, lo que conducirá a la aceptación de control estadístico.

- Por el contrario, si estos límites se acercan a la línea central, reduce el riesgo de cometer error de tipo II, pero aumenta probabilidad de cometer error de tipo I.

En consecuencia, hay que llegar a un equilibrio entre ambos, análogo al que se emplea en la construcción de los intervalos de confianza y contrastes de hipótesis, esto es, fijar α en un valor pequeño y minimizar β .

De esta forma, bajo el supuesto de contraste de hipótesis (ver Apartado 2.2.1) los límites de control pueden calcularse fijando k o bien, para un α dado, obtener el valor de k asociado y, a partir de él, construir los límites del gráfico. Estos últimos se denominan límites probabilísticos de α . En EE.UU. se suelen determinar límites control tomando $k = 3$, mientras que en algunas zonas de Europa occidental se opta por el cálculo de límites probabilísticos para $\alpha = 0.002$ (Amor et al., 2005).

7ª. Representación gráfica de la variación de los procesos

Llegados a esta fase del proceso, solo queda construir el gráfico de control con sus respectivos límites (ver Figura 2.1), donde se representará gráficamente la variación del proceso objeto de estudio.

La construcción del gráfico de control constituye en sí mismo el objetivo de las etapas anteriores. Las herramientas para la construcción y análisis de los gráficos de control han evolucionado conforme su aplicación se ha convertido en una práctica común en los procesos de control de calidad. Además, el rápido desarrollo de las tecnologías informáticas ha permitido la elaboración de los gráficos de forma rápida y a bajo coste con herramientas¹¹ tan sencillas como las hojas de cálculo Excel de Microsoft™, y los programas estadísticos, como SPSS™ o Minitab™.

8ª. Análisis e interpretación de los resultados obtenidos

Por último, solo resta analizar e interpretar los resultados obtenidos para analizar la variabilidad del proceso objeto de estudio.

¹¹ Para un análisis más detallado ver Zhang y Hou (2010).

La señal más clara de que el proceso está fuera de control es que alguna de las muestras analizadas esté fuera del intervalo de control calculado [LCS, LCI]. No obstante, aun estando dentro de dicho intervalo, la representación puede proporcionar información para detectar patrones o comportamientos anormales de la distribución, que dependerá del tipo de gráfico utilizado, dependiendo a su vez de los procesos a controlar (productos o servicios), del plan muestreo diseñado, etc.

Por este motivo, la aplicación eficaz de estas herramientas de control dependerá de la capacidad de reconocer patrones (Control Chart Pattern Recognition, CCPR). Hachicha y Ghorbel (2012) proponen un nuevo esquema de clasificación conceptual de dichos comportamientos, basado en el método de análisis, para clasificar los acontecimientos pasados y actuales en la investigación sobre CCPR (120 trabajos publicados en 1991-2010 fueron clasificados y analizados).

En general, para interpretar los patrones de un gráfico de control existen las siguientes pautas (Oakland, 2007; Amor et al., 2005):

- a) Tendencias o rachas: si el desplazamiento de la media o de la variabilidad es paulatino a lo largo del tiempo.
- b) Periodicidades: son repeticiones cíclicas de alguna de los gráficos de control.
- c) Inestabilidad: consiste en la presencia de grandes fluctuaciones que, en ocasiones, pueden provocar que algún valor caiga fuera de los límites de control.
- d) Sobreestabilidad: es el fenómeno contrario y se da cuando la variabilidad es menor de la esperada.

De manera más específica se cuentan con diferentes criterios para analizar los gráficos de control y tomar decisiones. De acuerdo con la Western Electric Company (1958), hay 15 tipos de patrones comunes de los gráficos de control. En el Cuadro 2.1 se resume los principales criterios, así como sus posibles causas de variación.

| Patrones de comportamiento | Concepto | Posibles causas |
|-----------------------------------|---|---|
| Ciclo | Patrones cortos repetidos que alternan crestas elevadas y valles bajos | <ul style="list-style-type: none"> ● Cambios en el entorno ● Turnos diferentes de trabajos |
| Tendencia | Resultado de alguna causa que afecta de manera gradual a las características de calidad del producto o servicio y ocasiona que los puntos de la gráfica se muevan gradualmente hacia arriba (tendencia creciente) o hacia abajo (tendencia decreciente) | <ul style="list-style-type: none"> ● Deterioro o desgaste de un equipo ● Mejora de la habilidad de los operarios ● Cambios graduales de condiciones de trabajo |
| Variación sistemática | Casi todos los puntos están próximos a la línea central | <ul style="list-style-type: none"> ● La muestra incluya un elemento tomado sistemáticamente de una o varias máquinas, trabajadores, etc. |
| Mezcla | Muchos puntos se encuentran cerca de los límites de control, con muy pocos entre dichos límites. | <ul style="list-style-type: none"> ● Utilizan lotes diferentes de material, máquinas diferentes para distintas partes del producto o prestación del servicio, pero es inspeccionado por el mismo equipo. |

Cuadro 2.1. Patrones comunes de los gráficos de control de calidad

Fuente: elaboración propia a partir de Western Electric Company (1958)

Por otro lado, Montgomery (2001, p. 197) señala los siguientes patrones anormales de comportamiento:

- Uno o más puntos fuera de los límites de control.
- Dos de los tres puntos consecutivos fuera de los límites de aviso 2σ , pero aún dentro de los límites de control.
- Cuatro de cinco puntos consecutivos fuera de los límites 1σ .
- Una racha de ocho puntos consecutivos en un lado de la línea central.
- Un patrón inusual o no aleatorio en los datos.
- Uno o más puntos cerca de un límite de advertencia o de control.

Como ya comentamos anteriormente, saber si el estadístico calculado a partir de la *i-ésima* muestra está o no dentro de los límites de control, puede ser definido como un contraste de hipótesis estadística; de manera que aceptar la hipótesis nula (H_0) sería suponer que el proceso está bajo control en cada una de las muestras seleccionadas, y rechazar la hipótesis nula implica asumir como correcta una hipótesis complementaria o alternativa (H_1). Un punto que esté fuera de los límites de control puede interpretarse como un incumplimiento de la hipótesis nula y una aceptación de la alternativa, es decir, dar por contrastado que el proceso no está bajo control.

Por tanto, durante la monitorización de un proceso puede existir la presencia de falsas alarmas (error de tipo I), es decir, se puede tener un punto fuera de los límites de control, cuando el proceso está bajo de control. Esto genera la necesidad de calcular la longitud promedio de rachas o números de muestras a tomar (en inglés, Average Run Length, ARL), hasta que aparece una señal fuera de control o hasta que caiga un punto por primera vez fuera de los límites de control, para evaluar la efectividad del gráfico de control. Es un indicador de la rapidez de respuesta de los gráficos de control.

Dado que cada longitud de racha (RL) cumple con las características de un ensayo Bernoulli¹², se puede afirmar que $RL \sim Geométrica(p)$, de manera que cuando el número de éxitos (r) = 1, p está asociada a la probabilidad de cometer errores tipo I y II, identificados anteriormente como α y β , respectivamente.

Así, α va asociada a la probabilidad de rechazar la hipótesis nula (H_0), cuando el proceso realmente está bajo control, y ARL_0 será el indicador de detección de esta falsa alarma, que viene dado por la siguiente expresión:

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha} \quad 2.4$$

De manera análoga, β está asociado a la probabilidad de rechazar la hipótesis alternativa (H_1), y el indicador que detecta esta falsa alarma (ARL_1) y viene dado por:

¹² Se recuerda que la distribución Bernoulli es la distribución Binomial (1, p).

$$ARL_1 = \frac{1}{1 - \beta} \quad 2.5$$

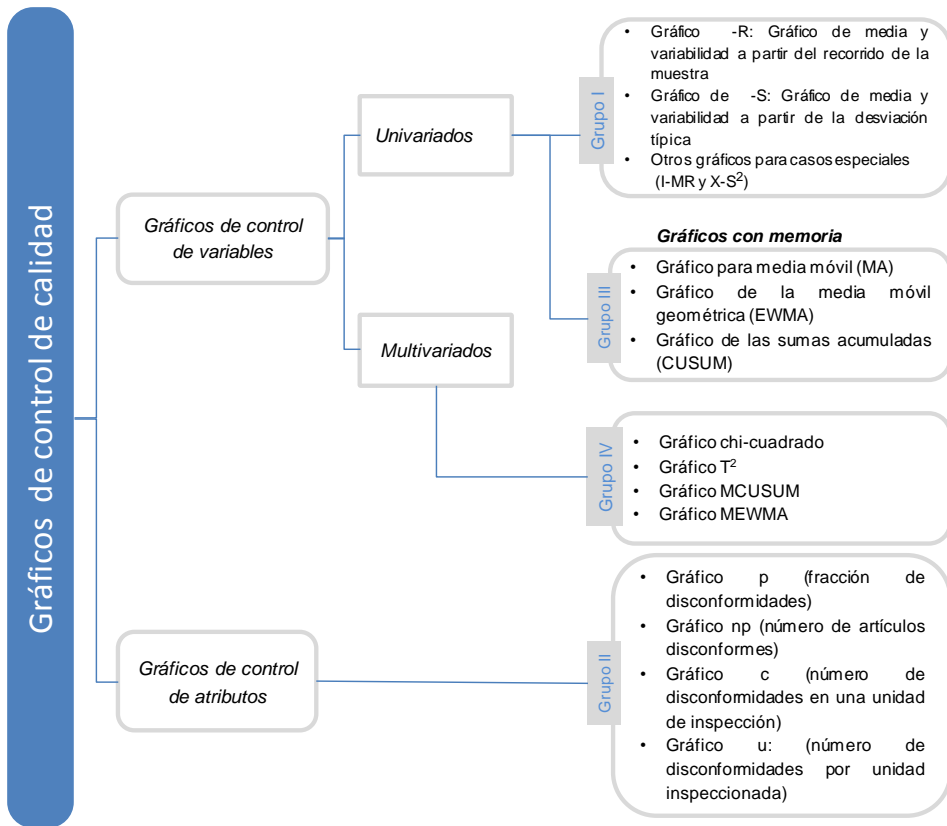
La expresión $1 - \beta^{-1}$ se conoce como la inversa de la Potencia de Contraste o Potencia de la Prueba de Hipótesis.

En el caso de los gráficos de control, la inversa de la Potencia de Contraste es conocida como curva característica de operación (curva OC, de las siglas Operating Characteristics) y su representación gráfica permite visualizar en un gráfico el error de tipo II (también llamado riesgo β) en función del desplazamiento $d = k\sigma$ de la media. Debido a que se ha demostrado que σ_x depende del tamaño de la muestra n , entonces la curva OC indica la inversa de la potencia de la prueba, en función del tamaño de la muestra n , y del nivel k de desplazamiento de la media, en términos de desviación estándar (σ).

Para el caso donde se desee calcular el ARL, considerando patrones o rachas no comunes, se debe recurrir a otros métodos de evaluación, entre los que se encuentran la simulaciones a través del método Monte Carlo (Schaffer y Kim, 2007; Robert, 1959), procesos estocásticos a través de Cadenas de Markov (Brook y Evans, 1972) y Ecuaciones Integrales (Champ y Rigdon, 1991).

2.3. TIPOS DE GRÁFICOS DE CONTROL DE CALIDAD

Como adelantábamos en la introducción de este capítulo, se distinguen dos tipos de gráfico de control de la calidad, dependiendo de la característica de la calidad que se quiera controlar: gráficos de control de variables (para características medibles y cuantitativas) y gráficos de control de atributos (para características de carácter cualitativo). En el Cuadro 2.2 se recogen los distintos tipos de gráficos de control, a cuyo estudio dedicamos este apartado.



Cuadro 2.2. Gráficos de control de calidad
Fuente: elaboración propia

2.3.1. Gráficos de control de variables

Los gráficos de control de variables se utilizan cuando la característica de la calidad a controlar puede ser medida y expresada en números (como, por ejemplo, temperatura, altura, grado de acidez, etc.). Asimismo, dependiendo del número de características de la calidad a controlar, estos gráficos pueden ser univariados (una sola variable) o multivariados (dos o más variables).

A continuación, abordamos los principales gráficos de control de cada una de las categorías identificadas en el Cuadro 2.2.

2.3.1.1. Gráficos de control univariados

Bajo la consideración de normalidad¹³ de la distribución estadística propuesta anteriormente, el estudio de la variabilidad de los procesos a través de los gráficos de control de variables, se basará, no sólo en el análisis de las medias de las muestras, sino también en estudio de la dispersión de los valores muestrales, que puede proporcionar una estimación de la dispersión del proceso y realizar un seguimiento de su evolución. En este último caso, es sabido que la dispersión de los valores de una población se mide por su desviación típica s , y los estimadores muestrales utilizados más frecuentemente son el recorrido o rango R y la desviación típica muestral S .

En base a lo anterior, son tres los gráficos de control de variables que se pueden construir para el estudio de la variabilidad de un proceso:

- a) Gráfico de medias (Gráfico \bar{X}), que se utilizan para controlar la media de una variable.
- b) Gráfico de desviaciones típicas (Gráfico S) y gráfico de rangos o recorridos (Gráfico R), que son utilizados para controlar la variación de una variable.

Así pues, un análisis completo de la variabilidad requerirá la construcción de dos gráficos de control, uno de la media y otro de la dispersión¹⁴, de ahí que en la literatura se diferencien principalmente dos tipos de gráficos: Gráfico \bar{X} - R y Gráfico \bar{X} - S , dependiendo de la medida de dispersión utilizada (rango o desviación típica) respectivamente.

A continuación se presentan los estadísticos para los gráficos convencionales $\bar{X}-R$ y $\bar{X}-S$ (conocido en la literatura como Gráficos de Shewhart), dependiendo si los parámetros de media μ y desviación típica σ son conocidos o no.

¹³ Bajo el supuesto de no normalidad, tanto para este tipo de gráfico, como para el resto de los gráficos de control de la calidad tratados en el presente capítulo, es necesario realizar un proceso de transformación de las variables analizadas mediante el uso de las diferentes técnicas disponibles en este ámbito de estudio. Un análisis detallado de ellas puede encontrarse en Hoyle (1973) y Sakia (1992).

¹⁴ En los casos que se utiliza un tamaño de muestra grande ($n > 10$), se debe utilizar un gráfico S como medida de variación (Montgomery y Mastrangelo, 1991). Los gráficos \bar{X} y R son eficientes para detectar cambios relativamente grandes en los procesos, pero su eficiencia disminuye cuando se trata de detectar pequeños cambios.

2.3.1.1.1. Gráfico $\bar{X} - R$

a) Caso μ y σ conocidos

Para una muestra aleatoria de una variable $X (X_1, X_2, \dots, X_n)$, si μ y σ son parámetros conocidos, entonces la construcción del gráfico de medias es inmediata a partir de su definición, siendo, por tanto, los límites de control los siguientes:

$$\begin{aligned} LCS &= \mu_{\bar{X}} + k\sigma_{\bar{X}} = \mu + k \frac{\sigma}{n} \\ LC &= \mu_{\bar{X}} = \mu \\ LCI &= \mu_{\bar{X}} - k\sigma_{\bar{X}} = \mu - k \frac{\sigma}{n} \end{aligned} \tag{2.6}$$

Para $k = 3$, los límites de control se representan como $\mu \pm A\sigma$, donde $A = \frac{3}{n}$.

De manera análoga, para el gráfico R , los límites de control vienen dados por:

$$\begin{aligned} LCS &= \mu_R + k\sigma_R = \sigma d_2 + k\sigma d_3 = \sigma d_2 + kd_3 \\ LC &= \mu_R = \sigma d_2 \\ LCI &= \mu_R - k\sigma_R = \sigma d_2 - k\sigma d_3 = \sigma d_2 - kd_3 \end{aligned} \tag{2.7}$$

Para $k = 3$, sustituyendo en las expresiones anteriores, se obtiene los siguientes límites de control:

$$\begin{aligned} LCS &= \sigma D_2 \\ LC &= \sigma d_2 \\ LCI &= \sigma D_1 \end{aligned} \tag{2.8}$$

donde $D_1 = d_2 - 3d_3$ y $D_2 = d_2 + 3d_3$.

a) Caso μ y σ desconocidos

En este caso, que no se tiene ningún conocimiento previo de los parámetros, es preciso estimar μ a partir de la media de las medias \bar{x} y s a partir del recorrido medio R de las k muestras iniciales.

De esta manera, los límites de control del gráfico de medias, vienen dados por las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned}
 LCS &= \mu + k \frac{\sigma}{n} = x + k \frac{\bar{R}}{d_2 n} \\
 LC &= \mu = x \\
 LCI &= \mu - k \frac{\sigma}{n} = x - k \frac{\bar{R}}{d_2 n}
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$

Si $k = 3$, los límites de control se representan por:

$$x \pm A_2 R \tag{2.10}$$

donde $A_2 = \frac{3}{d_2 n}$.

En cuanto al gráfico para la variabilidad (Gráfico R), si sustituimos en la formulación general de los valores estándares que aparecen en el Gráfico R por sus estimaciones (ver Ecuación 2.1), las expresiones matemáticas de los límites de control quedarían de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 LCS &= \sigma d_2 + k d_3 = \bar{R} \left(1 + k \frac{d_3}{d_2} \right) \\
 LC &= \sigma d_2 = \bar{R} \\
 LCI &= \sigma d_2 - k d_3 = \bar{R} \left(1 - k \frac{d_3}{d_2} \right)
 \end{aligned}
 \tag{2.11}$$

En el caso de que $k = 3$, la ecuación 2.11 se transforma en la siguiente:

$$\begin{aligned}
 LCS &= \bar{R} D_4 \\
 LC &= \bar{R} \\
 LCI &= \bar{R} D_3
 \end{aligned}
 \tag{2.12}$$

donde $D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2}$ y $D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$.

2.3.1.1.2. Gráfico $\bar{X} - S$

a) Caso μ y σ conocidos

Si μ y σ son conocidos, la construcción del gráfico de medias es análoga a la del Gráfico $\bar{X} - R$.

La representación del gráfico S dependerá de los estadísticos utilizados para calcular la desviación típica. En los procesos de ingeniería industrial se suele utilizar s^* como estimador de la varianza, por ser este un estimador insesgado y con $n-1$ grados de libertad de la muestra. El estadístico para calcular s^* está definido por:

$$s^* = \frac{1}{n-1} \sqrt{\sum_{i=1}^n X_i - X^2} \quad 2.13$$

De esta manera, con s^* , los límites de control del Gráfico S serían los siguientes:

$$\begin{aligned} LCS &= c_4 + 3 \sqrt{1 - c_4^2} \sigma = B_6 \sigma \\ LC &= c_4 \sigma \\ LCI &= c_4 - 3 \sqrt{1 - c_4^2} \sigma = B_5 \sigma \end{aligned} \quad 2.14$$

Para $n \leq 25$ los valores de c_4 están tabulados. Si $n > 25$, se utiliza la aproximación $c_4 \cong \frac{4n-1}{4n-3}$.

b) Caso μ y σ desconocidos

En este caso, para calcular los límites del Gráfico S , se estimará μ a partir de la media de las medias \bar{x} y a partir de la desviación típica muestral media (\bar{s}^*). De esta manera, los límites de control para el Gráfico \bar{X} son:

$$\begin{aligned} LCS &= \mu + k \frac{\sigma}{n} = \bar{x} + k \frac{\bar{s}}{c_4 n} = \bar{x} + \bar{s} \frac{k}{c_4 n} \\ LC &= \mu = \bar{x} \\ LCI &= \mu - k \frac{\sigma}{n} = \bar{x} - k \frac{\bar{s}}{c_4 n} = \bar{x} - \bar{s} \frac{k}{c_4 n} \end{aligned} \quad 2.15$$

Para el caso $k = 3$, los límites anteriores pueden presentarse de forma abreviada como $\bar{x} \pm A_3 \bar{s}$, donde $A_3 = \frac{3}{c_4 n}$.

Y para el Gráfico de dispersión (S), los límites de control en este caso, vienen dados por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} LCS &= \bar{S}B_4 \\ LC &= \bar{S} \\ LCI &= \bar{S}B_3 \end{aligned} \quad 2.16$$

donde $B_3 = 1 - 3 \frac{\sqrt{1-c_4^2}}{c_4}$ y $B_4 = 1 + 3 \frac{\sqrt{1-c_4^2}}{c_4}$

En cualquier caso, una vez establecido el plan de muestreo (número de muestras y tamaño de las mismas), el proceso para estudiar la variabilidad de un proceso mediante estos gráficos de variables ($X - R$ ó $X - S$) consta de dos fases:

- a) En una primera fase, después de realizar los filtrajes¹⁵ correspondientes de la media y del rango, y comprobar que todas las medias y rangos (o desviaciones) de las muestras seleccionadas para el estudio están dentro de los límites de control de la media y del rango (o desviación) respectivamente, será necesario ver si son o no válidos el proceso y el control que se van a realizar sobre él mediante los límites de control calculados anteriormente.

Para ello, será preciso comprobar que el intervalo de variación natural está dentro del intervalo definido por los límites de tolerancia $LTI \leq LVNI \leq LVNS \leq LTS$ y que la precisión del proceso, medida por el índice relativo de precisión ($IRP = (LTS - LTI)/R$ medio), sea media. La Figura 2.3 recoge esta fase del proceso en forma de diagrama de flujo.

¹⁵ Consiste en eliminar las muestras que su rango y media estén fuera de los intervalos de control del rango y media, respectivamente.

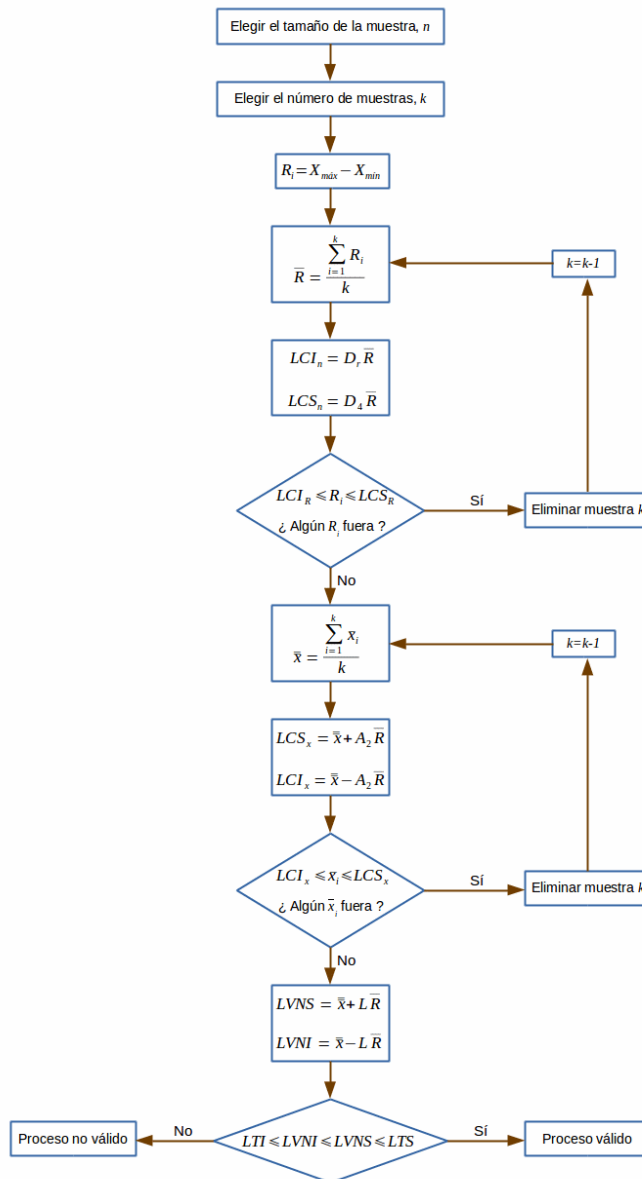
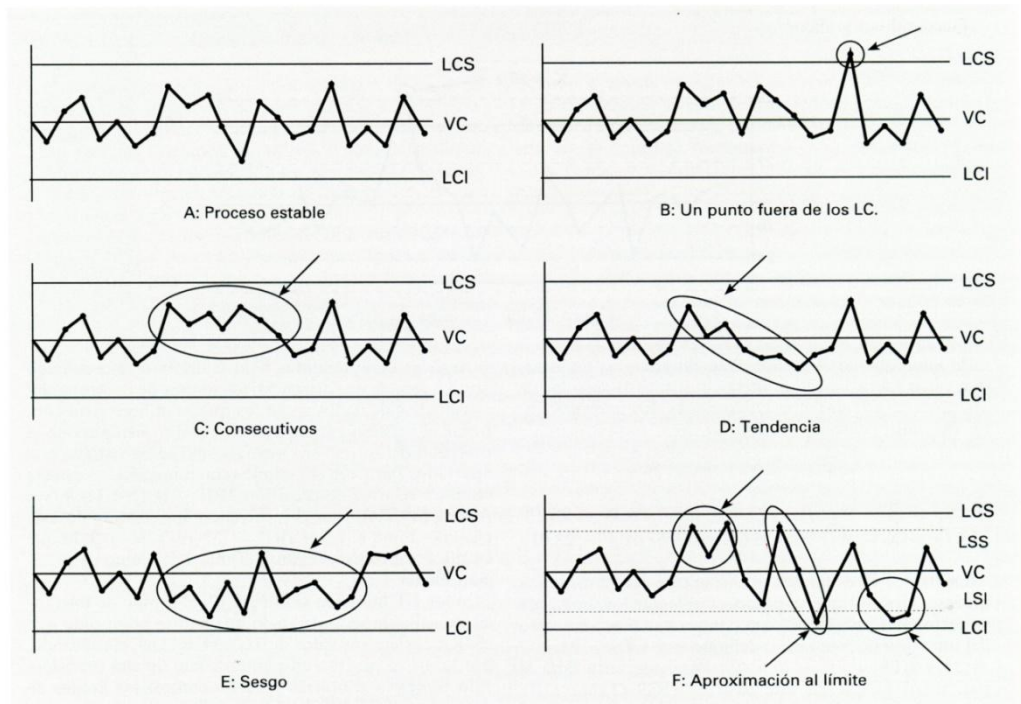


Figura 2.3. Diagrama para la construcción de los gráficos X-R
Fuente: Machuca et al. (1995, p. 436)

- b) En una segunda fase, bajo la consideración del cumplimiento de los requisitos de control de la fase anterior, el proceso será estable cuando cumpla las siguientes condiciones (Ozeki y Asaka, 1992):

- No hay puntos fuera del intervalo definido por los límites de control superior e inferior, calculados previamente.
- No hay ningún patrón anormal en la distribución de los puntos (ver Cuadro 2.3)



Cuadro 2.3. Distintos casos de procesos
Fuente: Machuca et al. (1995, p. 436)

Además, si un estado es estable a un nivel deseable en la perspectiva de consideraciones técnicas y económicas estaremos ante un estado controlado (JIS, 1981).

2.3.1.1.3. Gráficos con Memoria

Los gráficos de control que hemos visto hasta ahora solo utilizan la información contenida en la última muestra representada, e ignoran la información dada por el

conjunto de muestras, por lo que son poco sensibles a pequeños cambios en la media del proceso. Es cierto que la incorporación de límites de seguridad o de aviso y el estudio de pautas o patrones tratan de mejorar la sensibilidad de los gráficos utilizando más el conjunto de la información, pero a cambio de complicar algo el gráfico, dificultando su representación e interpretación.

Los denominados gráficos con memoria se presentan como alternativa para solventar esas deficiencias y por tanto, para detectar cambios pequeños en la media. Entre estos gráficos, se encuentran el gráfico de Media Móvil (en inglés, Moving Average, MA), el gráfico de Media Móvil Geométrica (en inglés, Exponentially Weighted Moving Average, EWMA) y el gráfico de Sumas Acumuladas (en inglés, Cumulative Sum, CUSUM).

2.3.1.1.3.1. Gráfico de Medias Móviles

En muchas ocasiones la aplicación de los gráficos tradicionales $X - R$ ó $X - S$ es inviable debido a las características propias de ciertos procesos, en los que sólo es posible obtener datos para la aplicación del CEP cuando ha concluido la producción de un lote o, cuando se tiene una medida aislada, pero relevante acerca de una característica de calidad en la que se tiene especial interés en controlar. Dicho de otra forma, resulta prácticamente imposible la formación de subgrupos naturales.

En estos casos, aunque menos eficientes que los gráficos descritos en el apartado anterior, se pueden elaborar gráficos como el de medias móviles. Las fórmulas para el cálculo de los límites de control son idénticas a las empleadas en los gráficos de $X - R$, si bien en este caso, el valor central se calcula teniendo en cuenta cada una de las medias de una serie de muestras independientes de tamaño n , (x_1, \dots, x_t, \dots) . Así pues, se define la media móvil de alcance w en el momento t como:

$$M_t = \frac{x_t + x_{t-1} + \dots + x_{t-w+1}}{w} = \frac{1}{w} \sum_{i=0}^{w-1} x_{t-i} \quad 2.17$$

de manera que en el instante t se suprime la media muestral más antigua y se añade la más reciente.

Por tanto, los límites de control de este gráfico (*MA*) vendrían dado por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} LCS &= \mu + \frac{k\sigma}{n\omega} \\ LC &= \mu \\ LCI &= \mu - \frac{k\sigma}{n\omega} \end{aligned} \quad 2.18$$

Para el caso que $t \geq w$, el gráfico se completa representando M_t y si ($1 \leq t \leq w$), se representa el promedio de las observaciones anteriores (x_1, \dots, x_t) y los límites de control $k\sigma$ vendrían dados por $\mu \pm \frac{k\sigma}{nt}$.

Para el periodo base, se estima la media $\mu = \bar{x}$ y como estimación de la desviación típica se pueden utilizar las mismas que en los gráficos $\bar{X} - R$ y $\bar{X} - S$.

2.3.1.1.3.2. Gráfico CUSUM

El gráfico de sumas acumuladas CUSUM (Cumulative Sum Control Chart), incorpora directamente toda la información, representando las sumas acumuladas de las desviaciones de los valores muestrales respecto de un valor objetivo.

Bajo el supuesto de muestras de tamaño igual o mayor que 1, siendo X_i la media muestral de la muestra i y μ_0 el objetivo para la media del proceso, el gráfico de sumas acumuladas se formará representando la cantidad $S_m = (X_i - \mu_0)$ respecto al número de orden (m) de la muestra.

Para combinar la información de varias muestras, los gráficos de sumas acumuladas son más efectivos que los gráficos de Shewhart para detectar pequeños cambios. Son particularmente eficaces cuando el tamaño de muestra es $n = 1$ y, por consiguiente, adecuados para su utilización cuando la tecnología permite inspeccionar y medir cada unidad producida, usando a la vez un ordenador en el puesto de trabajo.

Si el proceso se mantiene bajo control en el objetivo μ_0 , la suma acumulable ($S_m = (X_i - \mu_0)$) variará aleatoriamente respecto del valor cero. Sin embargo, si la media $\mu_1 > \mu_0$, se apreciará una tendencia ascendente en la suma acumulada S_m . Por el contrario, si la media se desplaza a $\mu_2 < \mu_0$, se apreciara una tendencia decreciente en S_m . Por consiguiente, una tendencia determinada

(positiva o negativa) se considerará como una evidencia de que la media del proceso se ha desplazado debido a la presencia de alguna causa asignable, que hay que investigar y eliminar.

Existen dos criterios para establecer formalmente que el proceso está fuera de control. Uno de ellos es un procedimiento gráfico (la máscara V propuesta por Barnard en 1959) y otro es un procedimiento numérico muy adecuado para establecer conjuntamente con un ordenador. Nos centramos en este último procedimiento, de manera que para cada muestra hay que calcular los dos valores siguientes:

$$S_i = \sum_{j=1}^i X_j - \mu_0 + F \quad ; \quad T_i = \sum_{j=1}^i X_j - \mu_0 - F \quad 2.19$$

donde:

X es la media muestral en la toma i -ésima,

μ_0 es el valor objetivo (media centrada),

F es un parámetro del gráfico de control que normalmente vale $\delta_0/2$, siendo δ_0 el cambio que queremos detectar con prontitud.

$F = f \cdot \sigma_x = f \cdot \bar{n} \cdot \sigma$, siendo normalmente $f = 0,5$ ya que queremos detectar normalmente cambios del orden de σ_x .

Cuando algún valor de S_i ó T_i cumple que $S_i > H$ ó $T_i < -H$, respectivamente (H elegido de acuerdo a la curva ARL que nos interese ($h\sigma_x$); siendo h normalmente 5) el proceso se considera fuera de control. Si S_i ó T_i se hace negativo o es igual a cero, una vez corregido el proceso, los contadores S_i y T_i se igualaría a cero.

Las curvas ARL de los gráficos CUSUM, se calculan a partir de los parámetros del gráfico, h y f (y del tamaño de la muestra, que está implícito en el desplazamiento), utilizando cadenas de Markov.

2.3.1.1.3.3. Gráfico EWMA

El gráfico de Media Móvil Ponderada Exponencialmente (en inglés, Exponentially Weighted Moving Range, EWMA), es una variedad de gráfico de media móvil en el que una “nueva media ponderada exponencialmente” se calcula cada vez que un nuevo resultado está disponible. Se asigna un peso $r \leq 1$ a la muestra actual t , pesos $r(1-r)$, $r(1-r)^2$, ..., $r(1-r)^{t-1}$ a las muestras, $(t-1)$, $(t-2)$, ..., 1 , respectivamente y peso $(1-r)^t$ al valor de partida $x_0 = \mu$, de manera que la suma de todos los pesos es igual a 1.

Los límites de control de este gráfico (EWMA) son:

$$\begin{aligned} LCS &= \mu + \frac{k\sigma}{n} \frac{r}{2-r} \frac{1}{1 - (1-r)^{2t}} \\ LC &= \mu \\ LCI &= \mu - \frac{k\sigma}{n} \frac{r}{2-r} \frac{1}{1 - (1-r)^{2t}} \end{aligned} \quad 2.20$$

Así pues, cuando t aumenta, el gráfico tiende a estabilizarse, de manera que los límites se simplificarían en la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} LCS &= \mu + \frac{k\sigma}{n} \frac{r}{2-r} \\ LC &= \mu \\ LCI &= \mu - \frac{k\sigma}{n} \frac{r}{2-r} \end{aligned} \quad 2.21$$

Si se considera que $r = 1$, se tiene un gráfico Shewhart, y si $r = 2/(w+1)$, se tiene un gráfico de Media Móvil.

2.3.1.1.3.4. Otros gráficos de control de variables: aplicaciones especiales

Además de los gráficos tratados en los apartados anteriores, también se utilizan otros gráficos para controlar variables en aplicaciones especiales.

Para el caso, que por la naturaleza de los datos o técnicas de muestreo, se utiliza muestras de tamaño unitario ($n=1$), interesa realizar gráficos de control para valores individuales. Al ser la muestra unitaria no resulta posible calcular la variabilidad dentro de la misma. Para resolver esto, se hace una agrupación artificial “de cada elemento con el siguiente”, de manera que se asocia la variación entre dos unidades consecutivas a la variación intermuestral. Esta

variación se estima a través del “recorrido móvil” (en inglés, Moving Range, MR), que se calcula mediante la diferencia de dos valores consecutivos.

Estos gráficos, se utilizan en mucha menor proporción que los gráficos convencionales \bar{X} y R ó \bar{X} y S y también se consideran mucho menos eficaces. Se suelen utilizar cuando no es posible completar los datos para utilizar los gráficos convencionales.

2.3.1.2. Gráficos de control multivariados

Cuando es necesario controlar simultáneamente dos o más características de calidad relacionadas, la utilización de los gráficos de control univariados de manera independiente para cada una de las variables puede arrojar resultados engañosos, dado que la probabilidad de encontrar un punto dentro de los límites de control no es igual que en los gráficos de control individuales (Montgomery, 2005).

Hotelling en 1947 es el que impulsa y realiza el primer trabajo en control de calidad multivariado, quien propuso un gráfico de control multivariante (gráfico T^2 Hotelling) basado en la distancia de Mahalanobis (1936), el cual calcula la distancia entre el vector de promedios esperado y el vector de promedios observados, considerando su matriz de covarianzas y utilizando un límite de control, que indica si la distancia entre los dos vectores es lo suficientemente grande para declarar al proceso como fuera de control.

De esta manera, el estadístico de Hotelling se obtiene a través de:

$$T^2 = (X - \bar{X})' S^{-1} (X - \bar{X}) \quad 2.22$$

donde $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ es el vector de medias y $S = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(X_i - \bar{X})'$ es la matriz de varianzas y covarianzas estimadas del proceso en base a un conjunto de n vectores, que se asume están bajo control estadístico y X es el vector asociado con la pieza a evaluar.

Para construir el gráfico de control T^2 de Hotelling de la distribución de referencia se calculan \bar{X} y S (Marroquín-Prado y Cantú-Sifuentes, 2010). El límite de control de la gráfica T^2 Hotelling, para un error Tipo I de α se expresa por:

$$LC = \frac{p(n-1)(n+1)}{n(n-p)} F_{(p,n-p)} \quad 2.23$$

Para cada producto seleccionado del proceso se miden las p características de calidad y se obtiene su estadístico T^2 . Si este valor es menor que LC , el proceso se declara dentro de control, caso contrario se declara fuera de control, indicando que el proceso se aleja de la distribución de referencia y es deseable identificar las causas de la señal fuera de control (Marroquín-Prado y Cantú-Sifuentes, 2010).

No obstante, la aplicación del gráfico T^2 de Hotelling tiene las siguientes limitaciones:

- Es insensible a cambios individuales en una variable o un subconjunto de ellas (Hawkins, 1991).
- Es insensible a cambios pequeños en el vector de medias del proceso (Lowry y Montgomery, 1995).
- Pierde sensibilidad a medida que el número de variables, p , se incrementa (Ye et al., 2006).
- La gráfica identifica señales fuera de control, pero no identifica las variables causantes de la señal.

Debido a la limitación que tiene el gráfico de control T^2 para identificar las variables fuera de control, se han propuesto varios enfoques gráficos y matemáticos. Dentro de este último enfoque se puede resaltar el método de descomposición MYT desarrollado por Mason, Tracy y Young (1997), que es un método para descomponer el estadístico T^2 de Hotelling en sus componentes ortogonales. El método MYT se aplica después de la detección de una situación anormal (Piña-Monarez et al., 2010).

Otra propuesta que se ha utilizado ampliamente para identificar las variables fuera de control es el Análisis de Componentes Principales (ACP). Se trata de una técnica de reducción dimensional e interpretación de datos, introducida por Karl Pearson, uno de los fundadores de la estadística en el siglo XIX. La idea es reducir las p variables originales en un nuevo conjunto de k nuevas variables o componentes principales ($k < p$), que expliquen la mayor parte de la variación de los datos. Una propiedad importante del ACP es que la suma de las varianzas de las variables originales es igual a la suma de las varianzas de los componentes principales.

Posteriormente a la contribución de Hotelling, en este mismo campo surgen otras aportaciones, tales como la realizada por Lowry et al. (1992) a través de la extensión del gráfico de control EWMA para el caso multivariante (MEWMA), y la versión multivariada de Crosier (1988) del gráfico de control de sumas acumuladas (MCUSUM). Los gráficos multivariantes mencionados están sujetos al supuesto de normalidad multivariada que podría ser una limitación para los casos donde la hipótesis sobre la distribución impuesta para estos modelos paramétricos multivariados no se cumpla.

2.3.2. Gráficos de control de atributos

Dedicamos este apartado al otro grupo de gráficos de control, que son los gráficos de control por atributos. Estos se utilizan cuando los elementos muestrales inspeccionados se clasifican en “conformes” o “no conformes”, según la característica o características cualitativas (atributos) sean o no conformes respectivamente con las especificaciones. También se consideran atributos, y por tanto también pueden ser aplicados este tipo de gráficos, aquellas características cuantitativas que se inspeccionan en términos de aceptable/no aceptable, presencia o ausencia de algún defecto, etc.

Este tipo de medición, a través de presencia o ausencia de atributos, tiene ciertas ventajas sobre el control por variables (Carot, 1998):

- Suele ser más sencillo y rápido y, por tanto, es más económico.
- Permite resumir las características de varias variables. Un artículo o servicio puede ser defectuoso o no dependiendo de un conjunto de variables y no de una sola.
- No se controla una característica medible, sino la ausencia o presencia de un atributo (rechazo/no rechazo).
- La información de si el servicio o el producto es o no defectuoso contiene, implícitamente, los datos de la capacidad del proceso (variabilidad del proceso productivo bajo control) y las tolerancias.

Dentro de este tipo de gráficos de control se encuentran las siguientes variedades, dependiendo de la característica a controlar:

- *Gráfico p* , para el caso de la fracción de artículos defectuosos producidos en un proceso de fabricación.
- *Gráfico np* , para el caso del número de artículos defectuosos producidos en un proceso de fabricación.
- *Gráfico c* , donde se mide el número de disconformidades o defectos observados.
- *Gráfico u* , que analiza el número de defectos por unidad inspeccionada.

2.3.2.1. Gráfico p para fracción defectuosa

En este gráfico se muestra la evolución de la proporción de individuos que tienen cierto atributo o característica de la calidad.

Los principios estadísticos en los que se basa el gráfico de control de la fracción o proporción de artículos disconformes proceden de la distribución binomial, puesto que si el proceso de producción funciona de manera estable y los artículos producidos de manera sucesiva son independientes, la probabilidad de que cualquier artículo no esté conforme con las especificaciones es una constante (p).

Entonces, si se selecciona una muestra aleatoria de n unidades, y X el número de unidades no conformes, la probabilidad de que X tome los valores $0, 1, 2, \dots, n$, vendrá determinada por la distribución binomial con parámetros n y p $X \sim B(n, p)$.

La base estadística para definir los límites de control de este gráfico es común con los demás gráficos de Shewhart, de manera que si se conoce el verdadero valor de la fracción disconforme p en el proceso o se dispone de un valor estándar para ella, entonces, a partir del modelo general para el gráfico de control (ver Ecuación 2.1), la línea central y los límites de control del gráfico de la fracción disconforme, vendrán dado por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
 LCS &= p + k \frac{\overline{p(1-p)}}{n} \\
 LC &= p \\
 LCI &= p - k \frac{\overline{p(1-p)}}{n}
 \end{aligned}
 \tag{2.24}$$

donde p se obtiene de dividir el número de artículos disconformes en la muestra i , (d_i), entre el número de artículos de la muestra (n_i).

La operativa de ellas consiste en tomar sucesivas muestras de n unidades, determinar para cada una el número de unidades no conformes y calcular el valor de p para cada muestra i p_i , de manera que si los p_i están dentro de los límites de control y la sucesión de puntos no exhiba un patrón sistemático, se concluirá que el proceso está bajo control estadístico; mientras que si hay valores fuera de los límites de control o si se observa un patrón no aleatorio entre los puntos, habrá que concluir que la fracción de disconformes del proceso cambió hacia un nuevo nivel y el proceso está fuera de control.

En el caso de que las m muestras consideradas tengan distintos tamaños n_i $i = 1, \dots, m$, cada muestra tiene sus propios límites de control relacionados con su tamaño, que vendría dados por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
 LCS_i &= p + k \frac{p(1-p)}{n_i} \\
 LC &= p \\
 LCI_i &= p - k \frac{p(1-p)}{n_i}
 \end{aligned}
 \tag{2.25}$$

No obstante, para simplificar los cálculos, en el caso de que el tamaño de las muestras sea variable, se puede realizar el gráfico a partir de un tamaño promedio de las muestras, obteniendo así unos límites de control constantes aproximados o simplificados¹⁶:

$$\begin{aligned}
 LCS &= p + 3 \frac{p(1-p)}{\bar{n}} \\
 LC &= p \\
 LCI &= p - 3 \frac{p(1-p)}{\bar{n}}
 \end{aligned}
 \tag{2.26}$$

¹⁶ Bajo el supuesto de que dichos tamaños muestrales están próximos, es decir, si todos ellos se encuentran en torno al 25% a cada lado del tamaño muestral promedio. Aun así, si hay alguna muestra con valor muy próximo a los límites de control calculados es conveniente calcular su límite exacto para ver si el proceso está bajo control.

donde el tamaño muestral promedio es $\bar{n} = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m n_i$

Cuando se desconoce la fracción disconforme (p_i), debe estimarse a partir de los datos observados. En este caso, los límites de control obtenidos se pueden considerar límites de control de prueba y estos permiten comprobar si el proceso estaba bajo control cuando se obtuvieron las m muestras iniciales. Para ello, se representa en el gráfico la fracción disconforme para cada muestra p_i y se compara con los límites de control obtenidos. Si todos los puntos están dentro de los límites de control y no se manifiesta un comportamiento sistemático, entonces se concluirá que el proceso estaba bajo control en el pasado, y que los límites de control de prueba son adecuados para controlar la producción actual y futura.

Por el contrario, si uno o más de los puntos i se encuentran fuera de los límites de control de prueba, se rechaza la hipótesis de un estado de control anterior, por lo que es necesario revisar los límites de control de prueba. Para ello, se examina cada uno de los puntos obtenidos fuera de control y se busca una causa atribuible a cada uno de ellos. Si se encuentra la causa por la que la muestra estaba fuera de los límites de control, se descarta la muestra del estudio y se vuelven a calcular los límites de control de prueba, utilizando únicamente las muestras restantes. Entonces, se representa el nuevo gráfico de control y se examina si las muestras restantes están bajo control con estos nuevos límites (los puntos que inicialmente estaban bajo control podrían salir fuera de estos nuevos límites, ya que éstos, a veces, son más estrechos que los anteriores). Este proceso se repite hasta que todas las muestras estén bajo control y, a partir de este momento, se acepten los límites de control de prueba como límites de control para vigilar el proceso en el futuro.

En el caso de no cumplirse el supuesto de normalidad, se utiliza el Gráfico p normalizado, en el que la línea central se localiza en el 0, los límites de control en $\pm k$ y los valores graficados (z_i) representan el número de desviaciones estándar que cada recuento está por arriba o por debajo de su valor esperado:

$$z_i = \frac{p_i - p}{\frac{p(1-p)}{n_i}} \quad 2.27$$

2.3.2.2. Gráfico np

El Gráfico np, que estudia el número de artículos defectuosos, se reduce directamente al gráfico p con todos los tamaños muestrales iguales que se han utilizado, sin más que multiplicar por n los límites de control obtenidos.

Entonces, si se conoce el verdadero valor del número de artículos disconformes np (o bien de la fracción disconforme p) en el proceso de fabricación, o se dispone de un valor estándar para él, los límites de control para el gráfico np son los siguientes:

$$\begin{aligned} LCS &= np + k \sqrt{np(1-p)} \\ LC &= np \\ LCI &= np - k \sqrt{np(1-p)} \end{aligned} \quad 2.28$$

En el caso que se desconoce el verdadero valor del número de artículos disconformes np (o la fracción disconforme p), hay que estimarla a partir de los datos observados. Para ello, se toman m muestras preliminares, todas ellas de tamaño n, en las que hay x artículos no conformes en la muestra i. Entonces, la media de artículos disconformes es igual a:

$$\bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i \quad 2.29$$

Este estadístico \bar{x} estima el número de artículos disconformes y de él se puede obtener el valor de np que se va a utilizar en los límites de control. Entonces, los límites de control del gráfico de control de artículos defectuosos son los siguientes:

$$\begin{aligned} LCS &= np + k \sqrt{np(1-p)} \\ LC &= np \\ LCI &= np - k \sqrt{np(1-p)} \end{aligned} \quad 2.30$$

Estos límites de control de prueba, al igual que en el Gráfico p, permiten comprobar si el proceso estaba bajo control cuando se obtuvieron las m muestras iniciales y utilizarlos, si son adecuados, para controlar la producción actual y futura.

Asimismo, al igual que en el gráfico p , en el caso de no cumplirse el supuesto de normalidad, se utiliza el Gráfico np normalizado, en el que la línea central se localiza en el 0, los límites de control en $\pm k$ y los valores graficados (z_i) vienen dados por la siguiente expresión :

$$z_i = \frac{d_i - n_i p}{\sqrt{n_i p(1-p)}} \quad 2.31$$

2.3.2.3. Gráfico c

A veces, el interés no reside en controlar el número de artículos defectuosos, sino en el número de defectos en un artículo o unidad de medida o, en general, el número de sucesos o atributos observados por unidad de medida. En este caso se utilizan el Gráfico c para estudiar el número de disconformidades en una unidad de inspección con tamaño muestral constante del artículo observado, siendo una unidad de inspección una entidad apropiada para registrar las disconformidades (por ejemplo, un número concreto de artículos).

Si se define la variable aleatoria C como el número de disconformidades por unidad de inspección, ésta se distribuye según una distribución de Poisson de parámetro ($c > 0$), esto es:

$$P C = x = e^{-c} \frac{c^x}{x!} \quad x = 0, 1, \dots \quad 2.32$$

La media y varianza de la distribución de Poisson son iguales y coinciden con el valor del parámetro c . Por tanto, los límites de control para el Gráfico c con los límites de $k\sigma$ son:

$$\begin{aligned} LCS &= c + k \bar{c} \\ LC &= c \\ LCI &= c - k \bar{c} \end{aligned} \quad 2.33$$

supuesto que se tiene un valor estándar para el parámetro desconocido c .

Si no se tiene un valor estándar para c , se estimará mediante el número medio de disconformidades presentes en las m muestras tomadas en el período base:

$$c = \bar{c} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m c_i \quad 2.34$$

de manera , que la líneas central y de control serán los siguientes:

$$\begin{aligned} LCS &= \bar{c} + k \frac{\bar{c}}{c} \\ LC &= \bar{c} \\ LCI &= \bar{c} - k \frac{\bar{c}}{c} \end{aligned} \quad 2.35$$

Estos límites de control de prueba, al igual que en los gráficos de atributos anteriores, permiten comprobar si el proceso estaba bajo control cuando se obtuvieron las m muestras iniciales y utilizarlos, si son adecuados, para controlar la producción actual y futura.

Además, al igual que en los anteriores gráficos de atributos, en el caso de no cumplirse el supuesto de normalidad, se utiliza el Gráfico c normalizado, en el que la línea central se localiza en el 0, los límites de control en ± k y los valores graficados (z_i) vienen dados por la siguiente expresión:

$$z_i = \frac{c_i - c}{\frac{c}{c}} \quad 2.36$$

2.3.2.4. Gráfico u

En el caso que se desea controlar el promedio de defectos por cada unidad de producción, en lugar del total de defectos para la unidad de inspección, se utiliza el gráfico de control u, de manera que $X_i^{17} = n_i m$, donde n_i es la cantidad de defectos por unidad de inspección y m es el número de unidades de producción en la unidad de inspección.

Así pues, si hay X disconformidades en una muestra de n unidades, donde la variable aleatoria C sigue una distribución de Poisson de parámetro c, entonces el número de disconformidades por unidad será:

$$u = \frac{c}{n} \quad 2.37$$

¹⁷ X es una variable aleatoria discreta que toma valores 0,1 m,1 2m...y cuya distribución de probabilidades se puede calcular a partir de la distribución de Poisson.

y los límites de control para el gráfico u con los límites de $k\sigma$ se calculan a través de las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} LCS &= u + k \frac{\bar{u}}{n} \\ LC &= u \\ LCI &= u - k \frac{\bar{u}}{n} \end{aligned} \quad 2.38$$

En el caso de que las m muestras consideradas tengan distintos tamaños n_i $i = 1, \dots, m$, cada muestra tiene sus propios límites de control relacionados con su tamaño, al igual que en el gráfico p , es decir:

$$\begin{aligned} LCS_i &= u + k \frac{u}{n_i} \\ LC &= u \\ LCI_i &= u - k \frac{u}{n_i} \end{aligned} \quad 2.39$$

No obstante, para simplificar los cálculos, en el caso de que el tamaño de las muestra sea variable, se puede realizar el gráfico a partir de un tamaño promedio de las muestras (n media), como en el caso del gráfico p , obteniendo así unos límites de control constantes aproximados o simplificados.

En el caso de no disponer de un valor estándar para u , se estimará mediante el número de disconformidades por unidad presentes en m muestras tomadas en el periodo base, de tal manera que:

$$\bar{u} = \frac{1}{n \cdot m} \sum_{i=1}^m c_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m u_i \quad 2.40$$

y por tanto, los límites para el gráfico de control vendrían expresados de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} LCS &= \bar{u} + k \frac{\bar{u}}{n} \\ LC &= \bar{u} \\ LCI &= \bar{u} - k \frac{\bar{u}}{n} \end{aligned} \quad 2.41$$

Estos límites de control de prueba, al igual que en los gráficos de atributos anteriores, permiten comprobar si el proceso estaba bajo control cuando se obtuvieron las m muestras iniciales y utilizarlos, si son adecuados, para controlar la producción actual y futura.

Si el tamaño de las muestras no es constante, y no se tiene un valor estándar para u , se estimará mediante el número de disconformidades por unidad presentes en las m muestras tomadas en el período base, o lo que es lo mismo, el valor ponderado de cada u_i denotado como \bar{u} y que se calcula como:

$$u = \bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^m c_i}{\sum_{i=1}^m n_i} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i u_i}{\sum_{i=1}^m n_i} \quad 2.42$$

En este último caso, los límites de control en la muestra i -ésima vienen dados por:

$$\begin{aligned} LCS_i &= \bar{u} + k \frac{\bar{u}}{n_i} \\ LC &= \bar{u} \\ LCI_i &= \bar{u} - k \frac{\bar{u}}{n_i} \end{aligned} \quad 2.43$$

Y por último, al igual que en los anteriores gráficos de atributos, en el caso de no cumplirse el supuesto de normalidad, se utiliza la versión normalizada del Gráfico u , en el que la línea central se localiza en el 0, los límites de control en $\pm k$ y los valores graficados (z_i) vienen dados por la siguiente expresión:

$$z_i = \frac{u_i - \bar{u}}{\frac{\bar{u}}{n_i}} \quad 2.44$$

2.3.3. Otros gráficos de control de calidad

En el diseño y aplicación de los gráficos revisados anteriormente se asume que las observaciones son estadísticamente independientes, siendo ésta una hipótesis clave en las propiedades estadísticas de estos gráficos. Sin embargo, esta suposición es frecuentemente vulnerada en muchos procesos industriales modernos, donde es frecuente la existencia de autocorrelaciones entre medidas sucesivas (automatizados) (Hubele et al., 1991; Keats y Montgomery 1991).

Sin embargo, la presencia de correlación no debe interpretarse como una causa especial de variabilidad, sino como parte del sistema de causas comunes intrínseco al proceso en cuestión, consecuencia de la presencia de elementos inerciales como flujo de materias primas, condiciones ambientales, etc. (Ferrer, 2004). En general todos los procedimientos de fabricación presentan cierta inercia frente a la acción de parámetros ambientales, el cambio de materias primas o al ajuste de sus condiciones operativas, por lo que un aumento de la frecuencia de muestreo puede llegar a generar la aparición de autocorrelación entre observaciones cercanas en el tiempo.

Bajo las consideraciones anteriores, varios autores han estudiado el comportamiento de los gráficos de control en presencia de autocorrelación (Capilla, 1991; Constable y Yen, 1991; Harris y Ross, 1991; Vasilopoulos y Stamboulis, 1978; Bagshaw y Johnson, 1975a; Johnson y Bagshaw, 1974; Goldsmith y Whitfield, 1961).

Este mal comportamiento de los gráficos de control estándar en presencia de correlación ha motivado un creciente interés en la comunidad científica por desarrollar nuevas estrategias de monitorización eficientes en procesos con dinámica, que permitan detectar la presencia de causas especiales de variabilidad, cuando la autocorrelación en los datos forma parte de las causas comunes, pero eliminando los problemas de frecuentes falsas alarmas o escasa potencia que plantean los gráficos de control tradicionales en este contexto.

Así pues, sin ánimo de ser exhaustivos, son varias las alternativas propuestas para resolver tales inconvenientes:

- 1) Una primera opción consiste en la modificación de los parámetros de diseño y las reglas de interpretación de los gráficos de control estándar (Shewhart, CUSUM y EWMA) para compensar el efecto de la correlación sobre sus propiedades estadísticas (Alwan, 1992; VanBrackle y Reynolds, 1997; Vasilopoulos y Stamboulis, 1978). Si el nivel de autocorrelación no es alto, este método puede funcionar bien en la práctica.
- 2) Otra posible solución (Berthouex et al. 1978) consiste en filtrar la serie de observaciones mediante el modelo ARIMA adecuado (Box et al. 1994) y a continuación realizar un gráfico de control de la serie de residuos del

modelo. Si éste está bien ajustado, los residuos o errores de predicción a un paso (diferencia entre el valor observado en el instante t y el predicho por el modelo en $t - 1$) están incorrelacionados, por lo que pueden utilizarse los gráficos de control estándar.

Alwan y Roberts (1988) proponen realizar de manera paralela al gráfico de control de los residuos, otro gráfico, sin incluir límites de control, de las predicciones del modelo. El primer gráfico sirve para detectar la presencia de causas especiales de variabilidad, mientras que el segundo refleja las causas comunes, dado que representa gráficamente la trayectoria suavizada del proceso y puede facilitar la interpretación de las salidas de control detectadas en el gráfico de los residuos. También puede añadirse en este segundo gráfico las observaciones originales con el fin de tener información de lo que está pasando en cada instante en el proceso.

Montgomery (2001) y Montgomery y Mastrangelo (1991) sugieren estimar la predicción aplicando un alisado exponencial, EWMA, a la serie original. El procedimiento en este caso también consiste en elaborar dos gráficos en paralelo. Uno es el gráfico de control de los residuos del modelo (errores de predicción a un paso). El otro es un gráfico de la serie original sin límites de control, en el que se incluyen las predicciones EWMA con sus límites de control correspondientes. Teóricamente el EWMA es la predicción óptima a un paso de un modelo IMA (1,1) (Box et al. 1994), por lo que la propuesta de Montgomery sólo debe aplicarse cuando el modelo IMA (1,1) ajuste bien los datos observados. Sin embargo, en la práctica este modelo puede considerarse razonable en muchos procesos con correlación positiva y donde la media no fluctúe demasiado rápidamente. En este sentido, algunos autores (Box y Luceño, 1997; Box y Kramer, 1992; MacGregor, 1988) consideran que el modelo IMA (1,1) es en procesos continuos correlacionados, el equivalente al modelo Normal tradicionalmente utilizado en las industrias de piezas con baja frecuencia de muestreo relativa a los elementos inerciales y, por tanto, con observaciones independientes.

Recientemente, han aparecido en la bibliografía muchos trabajos de investigación sobre las propiedades estadísticas de los gráficos de los residuos del modelo ARIMA ajustado, comparándolas con las de los

gráficos tradicionales en presencia de correlación (Chao-Wen y Reynolds, 1999a y 1999b; Zhang, 1998; Faltin et al., 1997; Lin y Adams, 1996; Vander Wiel, 1996; Runger et al., 1995; Superville y Adams, 1994; Wardell et al., 1994; ; Padgett et al., 1992; Harris y Ross, 1991). El resultado de estas investigaciones muestra que no hay una combinación de gráficos que tenga un comportamiento óptimo en un amplio rango de situaciones. En general, los gráficos CUSUM o EWMA de los residuos muestran un comportamiento mejor que los gráficos Shewhart para detectar ciertos cambios en la media de procesos con inercia. Sin embargo, en presencia de una elevada correlación positiva, todos los gráficos de residuos manifiestan una clara incapacidad para detectar rápidamente cambios sostenidos en la media del proceso, puesto que su ARL fuera de control es muy elevado.

3) Una tercera solución al problema del CEP con datos correlacionados ha sido propuesta por Apley y Tsung (2002), y constituye una mejora del método propuesto por Alwan y Alwan (1994). Consiste en construir en cada instante t , a partir de la serie univariante de datos autocorrelacionados, un vector multivariante de dimensión p constituido por una ventana móvil de p observaciones consecutivas $X_t = X_{t-p+1}, X_{t-p+1}, \dots, X_t$ a partir del cual se calcula y se representa gráficamente el estadístico T^2 -Hotelling:

$$T^2 = (X_t - \mu_0)' V^{-1} (X_t - \mu_0) \quad 2.45$$

donde V^{-1} es la matriz de covarianzas del vector X_t .

Apley y Tsung (2002) denominan este gráfico como T^2 autorregresivo y comparan el ARL de este gráfico con el de los gráficos CUSUM y Shewhart de los residuos suponiendo diferentes modelos ARMA (1,1). El gráfico T^2 autorregresivo funciona mejor que los gráficos de los residuos en la rápida detección de cambios moderados y grandes de la media del proceso, y es más robusto frente al incremento de falsas alarmas que se producen cuando existen errores de especificación o estimación en el modelo.

En la Figura 2.4 se presenta una guía que describe los pasos que se deben seguir cuando se desean construir gráficos de control a partir de datos que presentan correlación.

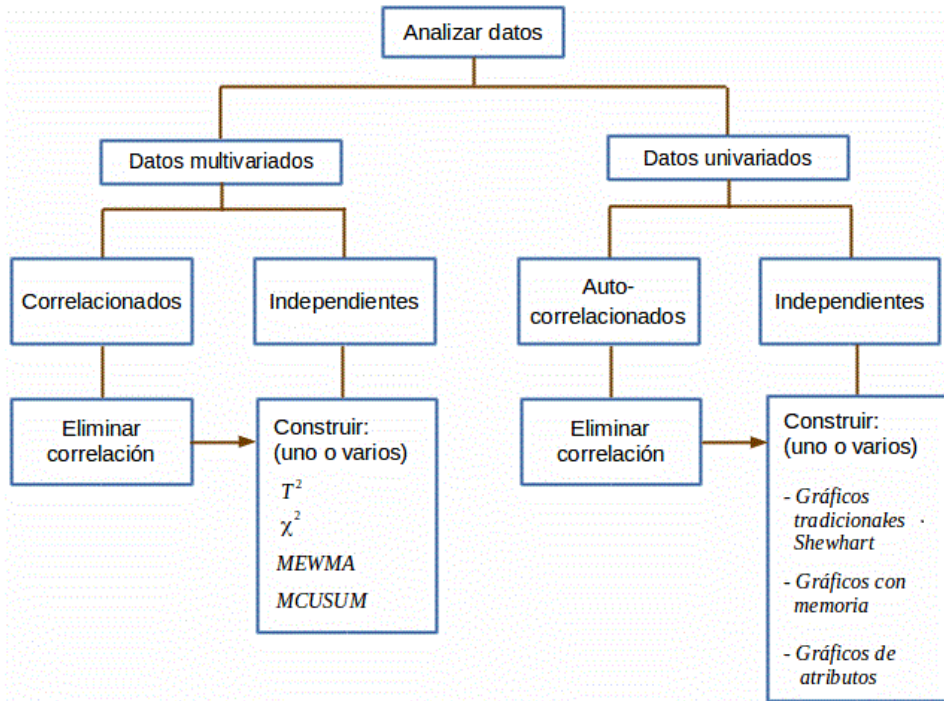


Figura 2.4. Gráficos de control con datos correlacionados
Fuente: adaptado de MacCarthy y Wasusri (2002)

2. 4. APLICACIONES DEL CEP EN EL SECTOR SERVICIOS

El control de calidad ha sido profundamente estudiado en la industria como componente fundamental en la competitividad de la organización; no obstante en el sector servicios, su aplicación y difusión ha sido más débil debido a la variabilidad inherente de sus procesos, por las propias características de los servicios (intangibilidad, heterogeneidad, inseparabilidad y perecedero) que requiere un mayor esfuerzo para la estabilización y monitorización de los procesos asociados a este sector, siendo éstos, dos de los grandes retos en la gestión por procesos en el sector servicios (Rodie y Martin, 2001; Kotler, 2000; Dickens, 1996).

Así pues, en la prestación de los servicios, al igual que en los procesos productivos, también existen variaciones que afectan a su calidad, por lo que los gráficos de control (así como otras herramientas de CEP) también pueden ser de gran utilidad en el estudio de la calidad, junto con las técnicas cualitativas de evaluación que con mayor frecuencia y tradicionalmente se han utilizado para determinar parámetros y evaluar la calidad del servicio.

En este sentido, Wyckoff (1984) afirma que el CEP es un buen método para vigilar los procesos de servicio, y también es útil para el personal para llevar a cabo mejoras en el ámbito laboral. De la misma manera, Tsung et al. (2008) destacan la aplicación del CEP para detectar patrones anormales derivados de causas no aleatorias (especiales) de los procesos, al igual que en la industria.

De manera general, diferentes autores han abordado la casuística del sector servicios en diferentes trabajos, como aplicaciones especiales de los gráficos de control estadístico de procesos (Ning et al., 2009; Tsung et al., 2008; Mundy et al., 1986; Rosander, 1985).

Una aplicación habitual del CEP en este sector, es la detección de respuestas especialmente altas o especialmente bajas de los niveles de satisfacción de los usuarios a través del tiempo, seguido de un análisis posterior para identificar las causas. Trabajos como los de Debnath y Shankar (2014), Jensen y Markland (1996), Wardel y Candia (1996), muestran los resultados de estudios realizados en este ámbito de aplicación.

En 2002, MacCarthy y Wasusri publicaron una revisión bibliográfica de aplicaciones no estándar de los gráficos de control estadístico de procesos (1989-2000), en la que reportan, además de aplicaciones no convencionales en la industria, otros campos de aplicación dentro del sector servicios, como el sector sanitario, la producción de software y otros servicios (sector turístico, sector público y sector financiero).

No obstante, a pesar de los beneficios que, al igual que en el sector industrial, puede aportar la implementación de estas técnicas de control en la gestión de la calidad de las empresas de servicios, su aplicación no está exenta de limitaciones, que requiere la consideración de diferentes aspectos o cuestiones a la hora de aplicarlos. En este sentido, han sido varias las aportaciones realizadas en este ámbito de estudio, materializadas en diferentes propuestas de enfoques y

guías para la implementación del CEP en entornos no manufactureros (Mason y Antony, 2000; Beamon y Ware, 1998; Atienza et al., 1997). Concretamente Sulek et al. (2006), Sulek (2004), Does et al. (1999) y Wood (1994) proponen guías específicas para la aplicación de gráficos de CEP en el sector servicios ya que, como es lógico, las características de calidad a monitorizar y los objetivos de implementación de la herramienta son diferentes a los procesos industriales, en algunos casos se hace necesario la adaptación de los estadísticos de los gráficos tradicionales a condiciones propias de los servicios. Yang et al. (2011) proponen un nuevo gráfico de control EWMA para monitorizar las medias de procesos en los servicios.

Por subsectores, entre las principales aportaciones en este campo de investigación destacan las aplicaciones en los sectores financieros, salud, telecomunicaciones, turismo y educación.

Dentro del sector servicios, es en el campo sanitario donde la aplicación de las técnicas de CEP ha adquirido más relevancia, destacando, entre otros aspectos, por el mayor número de aplicaciones¹⁸. Entre éstas destacan las que tienen por objetivo:

- 1) Monitorizar los resultados de intervenciones quirúrgicas o tratamientos médicos para diferentes tipologías de pacientes (por ejemplo, controlar las infecciones hospitalarias o control de parámetros sanguíneos) (Nightingale et al., 2012; Correia et al., 2011; Curran et al., 2008).
- 2) Controlar los resultados de un departamento, área o unidad sanitaria (Lane et al., 2007; Sedlack, 2010).
- 3) Controlar los niveles de satisfacción de los pacientes o usuarios de servicios sanitarios de un hospital (Griffen et al., 2012; Schwab et al., 1999; Piccirillo, 1996).

En el sector financiero, aunque con menor intensidad que en el sector anterior, también se han llevado a cabo investigaciones en este campo de estudio. Entre otros, Durán y Orlandoni (2006), han propuesto un estudio cuyo propósito es identificar los indicadores que describen el riesgo de entidades bancarias para monitorizar su rendimiento a través de la aplicación de gráficos MEWMA. Golosnoy

¹⁸ Para una revisión más completa, ver Thor et al. (2007).

y Schmid (2007), utilizan modificaciones de diversos métodos tales como el Gráfico R y el MEWMA, para el análisis de múltiples indicadores que determinan el retorno de la inversión en carteras. Y, por otro lado, Pérez-Duque (2012) propone un modelo de seguimiento de la calidad del proceso de crédito, específicamente la línea de créditos para vehículos, en una entidad del sector financiero. Dicho modelo se basa en la identificación de las causas vitales de la variabilidad en el proceso objeto de estudio, que están directamente relacionadas con la satisfacción del cliente final, el comportamiento del mercado y el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la compañía.

En el sector de telecomunicaciones, Ospina et al. (2010) aplica una aproximación multivariada de los gráficos de atributos para el análisis de la satisfacción del cliente en la prestación del servicio. Presenta una alternativa para aplicar los gráficos de atributos en el caso de analizar varias características de la calidad. Utley y May (2009) presentan los resultados de diferentes alternativas de aplicación de los gráficos de control, para concluir que la aplicación de un gráfico de residuos basado en *Mínimas Desviaciones Absolutas* puede ser más idóneo para la configuración de servicios reales, en las que no se cumplen los requisitos de normalidad y la cantidad de datos es limitada. Según aquellos autores, la metodología propuesta puede ayudar a los administradores de servicios para hacer un mejor trabajo el seguimiento de las mediciones de rendimiento relacionados, como parte de un programa de mejora de la calidad como Six Sigma.

Y por último, el sector educativo se ha convertido también en un potencial e interesante ámbito de aplicación del CEP en las últimas décadas. Las peculiaridades de este sector de servicios, así como la relevancia que ha adquirido la calidad en gestión de las instituciones educativas, han propiciado cambios en los enfoques utilizados para valorar la calidad de diferentes aspectos relacionados con el servicio prestado (actividad docente u otros servicios), que requieren el uso de otras técnicas de evaluación de la calidad, además de las de carácter cualitativo que se han venido utilizando tradicionalmente (encuestas de satisfacción, diagrama causa-efecto, etc.). Por el objetivo de nuestro trabajo, dedicamos el Capítulo 3 a profundizar en el estudio de la aplicación del CEP en este sector, mediante una revisión bibliográfica, cuyos objetivos, metodología y resultados presentamos en el siguiente Capítulo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alwan A.J. y Alwan L.C. (1994). Monitoring Autocorrelated Processes Using Multivariate Quality Control Charts. *Proceedings of the Decision Sciences Institute Annual Meeting 3*, 2106-2108.
- Alwan, L. C. y Roberts, H.V. (1988). Time-series modeling for statistical process control. *Journal of Business & Economic Statistics*, 6 (1), 87-95.
- Alwan, L.C. (1992). Effects of Autocorrelation on Control Chart Performance. *Communications in Statistics – Theory and Methods* 21, 1025-1049.
- Amor, R., Olmo, M.J. y Martínez, A.M. (2005). *Control estadístico de la calidad: una introducción*. Grupo Editorial Universitario.
- Apley, D.W. y Tsung, F. (2002). The autoregressive T^2 chart for monitoring univariate autocorrelated processes. *Journal of Quality Technology*, 34 (1), 80-96.
- Atienza, O.O., Ang, B.W. y Tang, L.C. (1997). Statistical process control and forecasting. *International Journal of Quality Science*, 2 (1), 37-51.
- Bagshaw, M. y Johnson, R.A. (1975a). The effect of serial correlation on the performance of CUSUM tests II. *Technometrics*, 17(1), 73-80.
- Bagshaw, M. y Johnson, R.A. (1975b). The influence of reference values and estimated variance on the ARL of CUSUM tests. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 413-420.
- Barnard, G. A. (1959). Control charts and stochastic processes. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 239-271.
- Beamon, B. M. y Ware, T. M. (1998). A process quality model for the analysis, improvement and control of supply chain systems. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 28 (9/10), 704-715.
- Berthouex, P.M., Hunter, W.G., Pallesen, L. y Shih, C.Y. (1978). Dynamic behavior of an activated sludge plant. *Water Research*, 12 (11), 957-972.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M. y Reinsel, G.C. (1994). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. 3 ed. Prentice-Hall.
- Box, G. y Kramer, T. (1992). Statistical process monitoring and feedback adjustment—A discussion. *Technometrics*, 34 (3), 251-267.

Box, G. y Luceño, A. (1997). Discrete proportional-integral adjustment and statistical process control. *Journal of Quality Technology*, 29 (3), 248.

Brook, D. y Evans, D. A. (1972). An approach to the probability distribution of CUSUM run length. *Biometrika*, 59 (3), 539-549.

Capilla, C. (1991). Aportaciones al conocimiento de las propiedades estadísticas de los gráficos de control para la media. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

Carot, V. (1998). Control Estadístico de la Calidad. Valencia: Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia.

Champ, C. W. y Rigdon, S. E. (1991). A comparison of the Markov chain and the integral equation approaches for evaluating the run length distribution of quality control charts. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 20 (1), 191-204.

Chao-Wen, L. y Reynolds Jr, M.R. (1999a). Control charts for monitoring the mean and variance of autocorrelated process. *Journal of Quality Technology*, 31 (3), 259.

Chao-Wen, L. y Reynolds Jr, M.R. (1999b). EWMA control charts for monitoring the mean of autocorrelated processes. *Journal of Quality Technology*, 31 (2), 166.

Constable, G. y Yen, V. (1991). Autocorrelation and control. In *ASQC Quality Congress Transactions*, Vol. 45, pp. 375-82.

Correia, F., Nêveda, R. y Oliveira, P. (2011). Chronic respiratory patient control by multivariate charts. *International journal of health care quality assurance*, 24 (8), 621-643.

Crosier, R. B. (1988). Multivariate generalizations of cumulative sum quality-control schemes. *Technometrics*, 30 (3), 291-303.

Cuatrecasas, L. (2005). *Gestión Integral de la Calidad, Implantación, Control y Certificación*. Ediciones Gestión 2000.

Curran, E., Harper, P., Loveday, H., Gilmour, H., Jones, S., Benneyan, J. y Pratt, R. (2008). Results of a multicentre randomised controlled trial of statistical process control charts and structured diagnostic tools to reduce ward-acquired meticillin-

resistant *Staphylococcus aureus*: the CHART Project. *Journal of Hospital Infection*, 70 (2), 127-135.

Debnath, R. M. y Shankar, R. (2014). Emerging trend of customer satisfaction in academic process: An application SPC and Taguchi's robust parameter design. *The TQM Journal*, 26 (1), 14-29.

Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. 3^{er} ed. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

Dickens, P. (1994). *Quality and excellence in human services*. John Wiley & Sons.

Does, R.J.M.M., Roes, K.C.B. y Trip, A. (1999). *Statistical Process Control in Industry*. Kluwer. Academic Publishers, Dordrecht.

Durán, Z., Orlandoni, G. (2006). Control de calidad de indicadores de alerta temprana determinados mediante modelos de ecuaciones estructurales. Caso: riesgo financiero en la banca nacional. Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales de la Universidad de Los Andes (IIES – ULA).

Faltin, F.W., Mastrangelo, C.M., Runger, G.C. y Ryan, T.P. (1997). Considerations in the monitoring of autocorrelated and independent data. *Journal of Quality Technology*, 29 (2), 131.

Ferrer, A. (2004). Control estadístico de procesos con inercia: revisión del estado del arte y perspectivas de futuro. *Estadística Española*, 46 (155), 19-47.

Goldsmith, P.L. y Whitfield, H. (1961). Average run lengths in cumulative chart quality control schemes. *Technometrics*, 3 (1), 11-20.

Golosnoy, V. y Schmid, W. (2007). EWMA control charts for monitoring optimal portfolio weights. *Sequential Analysis*, 26 (2), 195-224.

Griffen, A.L., Beall, C.J., Campbell, J.H., Firestone, N.D., Kumar, P.S., Yang, Z. K. y Leys, E.J. (2012). Distinct and complex bacterial profiles in human periodontitis and health revealed by 16S pyrosequencing. *The ISME journal*, 6 (6), 1176-1185.

Hachicha, W. y Ghorbel, A. (2012). A survey of control-chart pattern-recognition literature (1991–2010) based on a new conceptual classification scheme. *Computers & Industrial Engineering*, 63 (1), 204-222.

Harris, T.J. y Ross, W.H. (1991). Statistical Process Control Procedures for correlated observations. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 69, 48-57.

Hawkins, D.M. (1991). Multivariate Quality Control Based on Regression-Adjusted Variables. *Technometrics*, 33 (1), 61-75.

Hotelling, H. (1947). *Multivariate Quality Control, Techniques of Statistical Analysis*. Eisenhart, Hastay, and Wills.

Hoyle, M.H. (1973). Transformations: an introduction and a bibliography. *International Statistical Review/Revue Internationale de Statistique*, 41 (2), 203-223.

Hubele N., Shahriari H. y Cheng C. (1991). A bivariate capability vector. En Keats J.B. y Montgomery D.C. (eds.). *Statistical process control in manufacturing*. Dekker. New York.

Ishikawa, K. (1985). *What is total quality control?: the Japanese way* (Vol. 215). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Jackson, J.E. (1991), *A User's Guide to Principal Components*, New York: John Wiley & Sons, Inc.

Jensen, J.B. y Markland, R.E. (1996). Improving the application of quality conformance tools in service firms. *Journal of Services Marketing*, 10 (1), 35-55.

JIS (Japanese Industrial Standard- Z 8101-1981) (1981). *Glosario de términos empleados en Control de Calidad*.

Johnson, R.A. y Bagshaw, M. (1974). The effect of serial correlation on the performance of CUSUM tests. *Technometrics*, 16 (1), 103-112.

Juran, J.M. y Gryna, F.M. (1988). *Juran's quality control handbook*. NY: McGraw-Hill.

Katter Jr, J.G., Tu, J.F., Monacelli, L.E. y Gartner, M. (1998). Predictive cathode maintenance of an industrial laser using statistical process control charting. *Journal of Laser Applications*, 10 (4), 161-169.

Keats, J.B. y Montgomery, D.C. (1991). *Statistical process control in manufacturing*. Dekker. New York.

Kotler, P. (2000). *Marketing management: Analysis, planning, implementation and control* (10th ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Lane, S., Weeks, A., Scholefield, H. y Alfirevic, Z. (2007). Monitoring obstetricians' performance with statistical process control charts. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 114 (5), 614-618.

Lin, W.S. y Adams, B.M. (1996). Combined control charts for forecast-based monitoring schemes. *Journal of Quality Technology*, 28 (3), 289-301.

Lowry, A.C. y Montgomery, D.C. (1995). A Review of Multivariate Control Charts. *IIE Transactions*, 27 (6), 800-810.

Lowry, C.A., Woodall, W.H., Champ, C.W. y Rigdon, S.E. (1992). A multivariate exponentially weighted moving average control chart. *Technometrics*, 34 (1), 46-53.

MacCarthy, B.L. y Wasusri, T. (2002). A review of non-standard applications of statistical process control (SPC) charts. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 19 (3), 295-320.

MacGregor, J.F. (1988). On-line statistical process control. *Chemical Engineering Progress*, 84 (10), 21-31.

Machuca, J.A., García, S., Machuca, M.A., Ruíz, A. y Alvarez, M.J. (1995). *Dirección de operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. Mc Graw-Hill Interamericana de España.

Mahalanobis, P.C. (1936). On the generalized distance in statistics. *Proceedings of the National Institute of Sciences (Calcutta)*, 2, 49-55.

Marroquín-Prado, E. y Cantú-Sifuentes, M. (2010). Una gráfica de control combinada para identificar señales fuera de control en procesos multivariados. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 11 (4), 453-460.

Mason, B. y Antony, J. (2000). Statistical process control: an essential ingredient for improving service and manufacturing quality. *Managing Service Quality: An International Journal*, 10 (4), 233-238.

Mason, R.L., Tracy, N.D. y Young, J.C. (1997). A practical approach for interpreting multivariate T2 control chart signals. *Journal of Quality Technology*, 29 (4), 396.

Minitab® 17 Statistical Software.

Montgomery, D.C. (2001). *Introduction to statistical quality control*. John Wiley & Sons. New York.

Montgomery, D.C. (2005). *Control Estadístico de la calidad*. Mexico D.F. Limusa Wiley.

Montgomery, D.C. y Mastrangelo, C.M. (1991). Some statistical process control methods for autocorrelated data. *Journal of Quality Technology*, 23 (3), 179-193.

Mundy, R.M., Passarella, R. y Morse, J. (1986). Applying SPC in service industries. *Survey of Business*, 21 (3), pp. 24-29.

Nightingale, M. J., Madden, S., Curnow, E., Collett, D., Procter, S. y Rowe, G. P. (2012). An evaluation of statistical process control techniques applied to blood component quality monitoring with particular reference to CUSUM. *Transfusion Medicine*, 22 (4), 285-293.

Ning, X., Shang, Y. y Tsung, F. (2009). Statistical process control techniques for service processes: a review. In *Service Systems and Service Management, 2009. ICSSSM'09. 6th International Conference on* (pp. 927-931). IEEE.

Oakland, J. S. (2007). *Statistical process control*. Routledge

Ospina, C., Yañez, S. y Lopera, C. (2010). Algunas cartas de control bivariadas para atributos *Dyna*, 77 (162), 325-337.

Ozeki, K. y Asaka, T. (1992). *Manual de herramientas de calidad*. TGP, Tecnologías de Gerencia y Producción, SA.

Padgett, C.S., Thomb, L.A. y Padgett, W.J. (1992). On the α -risks for Shewhart Control Charts. *Communications in Statistics – Simulation and Computation* 21, 1125-1147.

Page, E. S. (1954). Continuous inspection schemes. *Biometrika* 41 100–115. *Mathematical Reviews (MathSciNet): MR88850 Zentralblatt MATH*, 56.

Pérez-Duque, P.N (2012). *Multivariate statistical quality control to monitoring and identifying variability causes in credit process in financial sector* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales).

Piccirillo, J. F. (1996). The use of patient satisfaction data to assess the impact of continuous quality improvement efforts. *Archives of Otolaryngology--Head & Neck Surgery*, 122 (10), 1045-1048.

- Piña-Monarez M., Martínez-Lugo J. y Marroquín-Prado E. (2010). Decomposition method for Hotelling's T^2 chart. *Proceedings of the 15th Annual International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice* (Mexico City) (October), 17-20.
- Roberts, S.W. (1959). Control chart tests based on geometric moving averages. *Technometrics*, 1 (3), 239-250.
- Rodie, A.R. y Martin, C.L. (2001). Competing in the service sector – The entrepreneurial challenge. *International Journal of Entrepreneurial Behaviour & Research*, 7 (1), 5–21.
- Rosander, A. C. (1985). *Applications of quality control in the service industries*. CRC Press.
- Runger, G.C., Willemain, T.R. y Prabhu, S. (1995). Average Run Lengths for CUSUM Control Charts Applied to Residuals. *Communications in Statistics – Theory and Methods* 24, 273-282.
- Sakia, R.M. (1992). The Box-Cox transformation technique: a review. *The statistician*, 169-178.
- Schaffer, J. R. y Kim, M. J. (2007). Number of replications required in control chart Monte Carlo simulation studies. *Communications in Statistics—Simulation and Computation*, 36 (5), 1075-1087.
- Schwab, R. A., Del Sorbo, S. M., Cunningham, M. R., Craven, K. y Watson, W. A. (1999). Using statistical process control to demonstrate the effect of operational interventions on quality indicators in the emergency department. *Journal for Healthcare Quality*, 21 (4), 38-41.
- Sedlack, J.D. (2010). The utilization of six sigma and statistical process control techniques in surgical quality improvement. *Journal for Healthcare Quality: Official Publication of the National Association for Healthcare Quality*, 32 (6), 18-26.
- Sulek, J.M. (2004). Statistical quality control in services. *International Journal of Services Technology and Management*, 5 (5, 6), 522-531.
- Sulek, J.M., Maruchek, A. y Lind, M.R. (2006). Measuring performance in multi-stage service operations: An application of cause selecting control charts. *Journal of Operations Management*, 24 (5), 711-727.

Superville, C.R. y Adams, B.M. (1994). An Evaluation of Forecast-Based Quality Control Schemes. *Communications in Statistics – Simulation and Computation* 23, 645-661.

Thor, J., Lundberg, J., Ask, J., Olsson, J., Carli, C. y Härenstam, K.P. (2007). Application of statistical process control in healthcare improvement: Systematic review. *Quality & Safety in Health Care*, 16 (5), 387-399.

Tsung, F., Li, Y. y Jin, M. (2008). Statistical Process Control for Multistage Manufacturing and Service Operations: A Review and some extensions. *Int. J. of Services Operations and Informatics*, 3 (2), 191-204.

Uitley, J. S. y Gaylord May, J. (2009). Monitoring service quality with residuals control charts. *Managing Service Quality: An International Journal*, 19 (2), 162-178.

Vanbrackle III, L.N. y Reynolds Jr, M.R. (1997). EVMA and CUSUM control charts in the presence of correlation. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 26 (3), 979-1008.

Vander-Wiel, S.A. (1996). Monitoring processes that wander using integrated moving average models. *Technometrics*, 38 (2), 139-151.

Vasilopoulos, A.V. y Stamboulis, A. P. (1978). Modification of control chart limits in the presence of data correlation. *Journal of Quality Technology*, 10 (1).

Wardell, D.G. y Candia, M.R. (1996). Statistical process monitoring of customer satisfaction survey data. *Quality management journal*, 3 (4).

Wardell, D.G., Moskowitz, H. y Plante, R.D. (1994). Run-length distributions of special-cause control charts for correlated processes. *Technometrics*, 36 (1), 3-17.

Western Electric Company (1958). Statistical quality control handbook. Indianapolis, Indiana: Western Electric Co. Inc.

Wood, M. (1994). Statistical methods for monitoring service processes. *International Journal of Service Industry Management*, 5 (4), 53-68.

Wyckoff, D.D. (1984). New tools for achieving service quality. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*, 25 (3), 78-91.

Yang, S.F., Cheng, T.C., Hung, Y.C. y W Cheng, S. (2012). A new chart for monitoring service process mean. *Quality and Reliability Engineering International*, 28 (4), 377-386.

Ye, N., Parmar, D. y Borrór, C.M. (2006). A hybrid SPC method with the chi-square distance monitoring procedure for large-scale, complex process data. *Quality and Reliability Engineering International*, 22 (4), 393-402.

Zhang, N.F. (1998). A statistical control chart for stationary process data. *Technometrics*, 40 (1), 24-38.

Zhang, Y. y Hou, L. (2010). Software Design for Quality-oriented Statistical Tolerance and SPC. En *Information and Computing (ICIC), 2010 Third International Conference*, 3, 127-130.

Capítulo 3

Aplicación del Control Estadístico de
Procesos en contextos educativos:
una revisión bibliográfica en el
ámbito universitario

Aplicación del Control Estadístico de Procesos en contextos educativos: una revisión bibliográfica en el ámbito universitario

Una vez introducido el CEP en el Capítulo 2, para alcanzar el objetivo 2 del trabajo, dedicamos este Capítulo a establecer el estado del arte sobre la aplicación del CEP en entornos educativos. Para ello, realizamos un estudio bibliográfico, con vistas a establecer, junto con el marco teórico descrito en el Capítulo 2, las bases teóricas y conceptuales para desarrollar la parte empírica de este trabajo de investigación. Se trata de identificar, obtener y consultar la bibliografía y otros materiales escritos útiles para los propósitos del estudio, de los que se debe extraer y recopilar la información relevante y necesaria que atañe al problema de investigación (Hernández et al., 2003).

Por tanto, no se trata de una revisión exhaustiva sobre los trabajos publicados sobre el tema investigado, sino aquellos que aparezcan en una muestra de documentos, cuyos criterios de selección se especificarán en el apartado correspondiente de este capítulo, durante el periodo de estudio seleccionado (1995-2015).

A continuación, se presentan los objetivos, metodología y resultados de la revisión bibliográfica realizada.

3.1. OBJETIVOS DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo general de la revisión bibliográfica de los estudios previos relacionados con el estudio que presentamos, y tal como se expresa en el objetivo 3 de la tesis doctoral, es “*determinar el estado de la cuestión de la aplicación del CEP en contextos educativos, y especialmente en el ámbito universitario*”, a través del análisis de los diversos estudios publicados en la materia en el entorno mundial durante el periodo 1995-2015.

Ello nos permite recopilar información relevante de los estudios revisados, para a su vez alcanzar los siguientes subobjetivos 2.1, 2.2 y 2.3. Estos son:

- a) Contextualizar la aplicación del CEP en el ámbito educativo, para identificar posibilidades y limitaciones.
- b) Conocer el grado de madurez (expansión y evolución) de la investigación desarrollada en el campo de estudio.
- c) Determinar la idoneidad de la técnica para nuestro trabajo de investigación.

3.2. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

Para la consecución de los objetivos señalados, se procedió a realizar la revisión bibliográfica, en la que la búsqueda y el análisis de la bibliografía constituyen un fin en sí mismo.

Para el desarrollo de dicha revisión bibliográfica, hemos seguido las recomendaciones de algunos autores (Roussos, 2011; Medina et al., 2010; Guirao-Goris et al., 2008; Transfield et al., 2003; etc.) con vistas a garantizar la consecución de la calidad de la revisión efectuada. De esta forma, diferenciamos en el desarrollo del trabajo varias etapas que se sintetizan en la Figura 3.1.

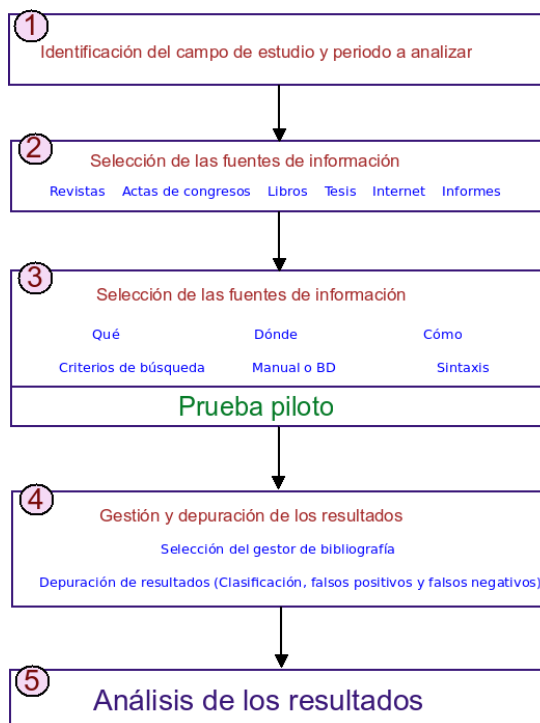


Figura 3.1. Fases del proceso de revisión bibliográfica
Fuente: Medina et al., 2010

A continuación se describe el proceso, siguiendo el esquema descrito en la Figura 3.1.

3.2.1. Identificación del campo de estudio y periodo a analizar

En el caso que nos ocupa, el campo de estudio queda definido en el marco del CEP, con énfasis en la aplicación de los gráficos de control estadístico de calidad en el ámbito educativo, estando presente gran diversidad de áreas de estudio como la estadística, la educación y la administración y dirección de empresas.

En cuanto al ámbito temporal a analizar, la revisión bibliográfica realizada queda acotada al periodo comprendido entre enero de 1995 y julio de 2015, ambos inclusive.

3.2.2. Selección de las fuentes de información

El siguiente paso consiste en establecer las fuentes bibliográficas para llevar a cabo este trabajo. Las principales fuentes bibliográficas de las que dispone un investigador son los artículos publicados en revistas, las ponencias y comunicaciones en congresos, las tesis doctorales, los libros monográficos y los manuales de estudio más generales, definiéndose todas ellas como fuentes primarias (Hernández et al., 2003).

Para realizar la búsqueda y la posterior revisión bibliográfica, que han permitido alcanzar los objetivos planteados en el Apartado 3.2, nos centramos principalmente en artículos y, exclusivamente, en aquellos publicados en revistas científicas, ya que como norma general, cuando un trabajo tiene una fuerte relevancia científica, éste es enviado a revistas con un determinado nivel de impacto, siendo dicho artículo revisado por especialistas en el área concreta, permitiendo así que se seleccionen aquellos artículos que realizan aportaciones significativas al desarrollo de la ciencia (Hernon y Schwartz, 2006; Stirling, 2001).

En segundo lugar, y de forma excepcional, hemos incluido otros trabajos (dossiers, comunicaciones de congresos, etc.) cuando, tras el exhaustivo análisis de los mismos, lo hemos estimado como original y con una contribución relevante al estado de la cuestión que estamos analizando.

3.2.3. Realización de la búsqueda

Debido al carácter multidisciplinar en el que se enmarca la aplicación de los gráficos de CEP en el ámbito educativo, consideramos que no era oportuno basarnos en una revisión bibliográfica que tenga como base una búsqueda realizada a partir de una serie de revistas específicas, pues sería un proceso poco exhaustivo. Descartando por tanto esta posibilidad, optamos por la realización de la búsqueda de artículos en tres bases de datos que nos permitirán abarcar un mayor número de revistas. Las bases de datos que decidimos emplear son Abi Inform, Scopus y Education Resources Information Center (ERIC). El uso de estas bases de datos facilita la búsqueda y localización de aquellos trabajos que sean relevantes científicamente, incluyendo revistas que pertenezcan a diversas áreas de estudio.

La base de datos ABI Inform es una de las fuentes de información más aceptada para la realización de búsquedas bibliográficas, junto con las bases de datos *Scopus* e *ISI Web of Knowledge*. Dicha base de datos ofrece una cobertura en materia de economía y negocio, englobando distintos tipos de publicaciones desde 1971 hasta la actualidad, actualizándose sus contenidos de forma mensual.

Por otro lado, la base de datos *Scopus* es la mayor base de resúmenes y referencias bibliográficas de literatura científica revisada por pares, con más de 18.000 títulos de 5.000 editoriales internacionales. Permite una visión multidisciplinaria (Química, Física, Matemáticas, Ingeniería, Ciencias de la Vida y de la Salud, Ciencias Sociales, Psicología, Economía, etc.) de la ciencia e integra todas las fuentes relevantes para la investigación básica, aplicada e innovación tecnológica a través de patentes, fuentes de Internet de contenido científico, revistas científicas de acceso abierto, memorias de congresos y conferencias. Es actualizada diariamente y contiene los *Articles in Press* de más de 3.000 revistas.

Además, como no podría ser de otra manera (recordemos que nuestro objetivo es establecer el estado del arte sobre la aplicación del control estadístico de procesos - y en particular de los gráficos de control- en el ámbito educativo), aplicamos los criterios de búsqueda en una base de datos reconocida internacionalmente en el ámbito educativo, como es ERIC. Esta base de datos, patrocinada por el Departamento de Educación de Estados Unidos, es la principal fuente de información bibliográfica referencial en Ciencias de la Educación, citando a la fecha de finalización de este trabajo más de 1,2 millones de registros. Está conformada por dos fuentes, *Current Index to Journals in Education* (CIJE) y *Resources in Education* (RIE), ambas cubren más de 14.000 documentos e indexan sobre 20.000 artículos de revistas por año. Adicionalmente, ERIC provee cobertura a libros, conferencias, documentos gubernamentales, tesis, medios audiovisuales, bibliografías y monografías.

En estas bases de datos podemos obtener, consecuentemente, información sobre investigación multidisciplinaria publicada en revistas de alta calidad científica.

Para completar la búsqueda, hemos incluido algunos trabajos localizados tras consultar las referencias bibliográficas de los artículos seleccionados previamente, siempre y cuando cumplieren los criterios de inclusión, y, una vez evaluados, se haya estimado que su aportación fuera relevante para cumplir el objetivo de la revisión bibliográfica establecido anteriormente.

El hecho de que el punto de partida para llevar a cabo la búsqueda y posterior revisión bibliográfica esté basado en las tres bases de datos mencionadas, en lugar de la base de datos *ISI Web of Knowledge*, se debe a que las bases de datos *ABI Inform* y *Scopus* recogen la mayor parte de artículos publicados y relevantes científicamente. En concreto, autores como Meho y Rogers (2008) han comprobado cómo la base de datos *Scopus* permite cubrir una literatura mucho más amplia que la *ISI Web of Knowledge*, abarcando un mayor número de revistas, así como las materias de humanidades, sin existir diferencias significativas en cuanto a las citas dadas en ambas. Además, otro aspecto interesante por el que nos hemos decantado a usar las bases de datos comentadas es que, de cara a la práctica, es mucho más sencillo acceder a los textos completos a través de ellas, que a partir de la *ISI Web of Knowledge*.

Como puede observarse en la Figura 3.2, que muestra el proceso de búsqueda realizado, hemos utilizado una serie de criterios de búsqueda comunes, que fueron aplicados con independencia de la base de datos utilizada.

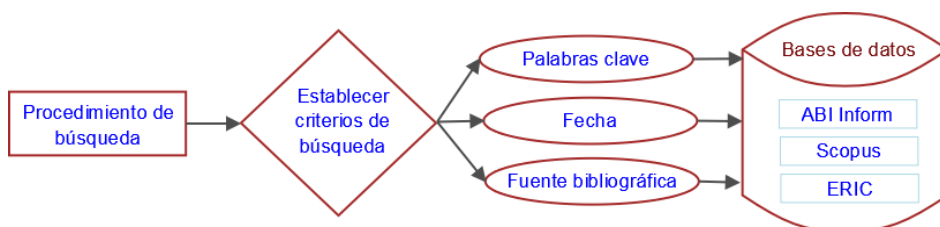


Figura 3.2. Proceso generalizado de búsqueda
Fuente: elaboración propia

En concreto, establecimos dos criterios básicos e idénticos para todas las búsquedas realizadas. Estos criterios, ya determinados anteriormente, son el rango de fechas establecido (Apartado 3.3.1) y la fuente bibliográfica a consultar (Apartado 3.3.2).

Una vez establecidos estos criterios, que definen parte de las pautas genéricas del proceso de búsqueda, se establecen las palabras clave y la sintaxis usada.

En primer lugar, solicitamos que el nombre de la metodología objeto de estudio, esto es, “statistical process control” o términos utilizados indistintamente para hacer referencia a ésta, como “statistical quality control”, “shewhart charts” y “control charts”, apareciera en el título o en el resumen (abstract) o en palabras

clave (keywords), pues consideramos que si un artículo, práctico o teórico, va a aplicar un método determinado, esta información debe aparecer como mínimo, reflejada en el resumen.

Por otro lado, incluimos también la condición (“Y”) para que en el título de la publicación o en el resumen aparecieran las palabras “educ*” o “teach*” o “learning” o “student*” o “course” o “classroom” o “universit*” o “academic”.

Es importante aclarar que las combinaciones de palabras dan lugar a varias cadenas de búsqueda, que se repiten en las diferentes bases de datos, y dan como resultado un importante número de registros que es necesario depurar y gestionar.

3.2.4. Gestión y depuración de los resultados

A continuación, exponemos de forma esquemática el proceso seguido para la depuración de los resultados y el registro de los artículos a analizar (ver Figura 3.3), proceso que desarrollamos de forma más exhaustiva en el Apartado 3.4, donde se exponen los resultados obtenidos mediante la búsqueda y revisión realizada.

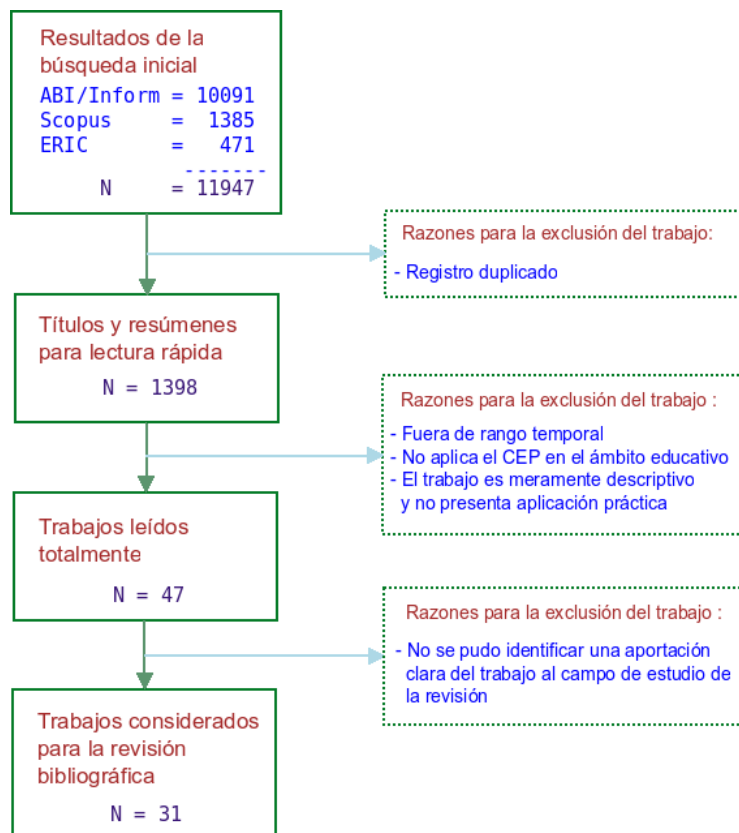


Figura 3.3. Proceso de depuración de resultados
Fuente: elaboración propia

Como se puede observar, los resultados iniciales obtenidos con el proceso de búsqueda realizado nos muestran un total de 11947 referencias, las cuales exportamos al gestor de referencias “Refworks”. Esto nos permitió eliminar los artículos duplicados en las bases de datos consultadas, quedando en esta fase 1398 documentos.

A continuación, se procedió a una lectura rápida del título y el resumen del artículo, descartando aquellas referencias que, por algún motivo técnico que desconocemos, estaban fuera del rango temporal especificado en la búsqueda o, bajo nuestro criterio, no podían enmarcarse dentro del ámbito de “la aplicación del CEP (y en particular de los gráficos de control) en el ámbito educativo”. También se eliminó aquellas que, aunque pudieran enmarcarse en el campo de nuestra revisión bibliográfica, no presentaban una aplicación práctica, consistiendo la publicación en un trabajo que hemos calificado como meramente descriptivo.

Como resultado de esta fase de depuración recopilamos 47 trabajos, que fueron revisados exhaustivamente. Una vez leídos, se descartaron aquellos artículos que no presentaban aportación clara al campo objeto del estudio¹⁹. Después de esta etapa final de depuración nos quedamos con un total de 31 artículos, para ser analizados comprensivamente y que constituyen la base de la presente revisión. Éstos se presentan en la Tabla 1 del Anexo del Capítulo 3 (Tabla A3.1).

3.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A continuación, sobre la base de la información recabada en el proceso descrito en el apartado anterior, para el desarrollo del análisis de los trabajos se ha estructurado la información en los siguientes apartados:

a) *Publicación de los estudios*, donde reflejamos información como el título, autor, revista y año de publicación. También consideramos otros aspectos de interés que nos permiten evaluar la calidad de los trabajos, en función de algunas características de las publicaciones (factor impacto, número de citas, etc.).

b) *Contextualización de los estudios*, donde recogemos información relativa a aspectos tales como, el ámbito de aplicación (universitario, evaluación a gran escala, Test Adaptativos Informatizados -TAI- y preuniversitarios), la disciplina o área de conocimiento, los objetivos perseguidos en la aplicación del CEP, el ámbito geográfico y el año de realización del mismo.

c) *Diseño y desarrollo de los estudios*, donde analizamos aspectos metodológicos básicos en la realización de cualquier estudio de CEP, como son el tipo de gráfico aplicado, la característica de calidad controlada, el instrumento y la unidad de medida utilizada.

d) *Resultados del estudio*, donde abordamos la última parte de la revisión bibliográfica, centrándonos, no en los resultados analíticos, sino en los beneficios,

¹⁹ Otro motivo de exclusión fue la restricción del idioma de publicación. De forma generalizada, las bases de datos utilizadas indexan los trabajos publicados por el título y el resumen presentado en inglés, aunque el artículo de forma extendida se publique en un idioma diferente. Por ello, en los criterios de búsqueda no se hizo ningún filtro con respecto al idioma de publicación. Los 46 artículos leídos de forma exhaustiva para su valoración están publicados en inglés.

barreras y factores que facilitan o dificultan la aplicación del CEP en el ámbito educativo.

Siguiendo esta estructura, en los siguientes epígrafes presentamos los resultados obtenidos.

3.3.1. Publicación de los estudios

a) Revistas: tipos y características

En este apartado consideramos todos aquellos aspectos que nos han permitido caracterizar los trabajos en función de su publicación.

De los 31 trabajos seleccionados, 27 corresponden a artículos publicados en revistas científicas y el resto son papeles de conferencias (Peterson, 2015; Mazumder, 2014; Edwards et al., 2005; Besterfield-Sacre et al., 1998).

En cuanto a los últimos documentos revisados, aunque se han encontrado trabajos que refieren la aplicación del CEP en algún aspecto educativo, la mayoría de ellos ha sido excluida para la revisión por diversas causas:

- a) el papel es exclusivamente descriptivo y no presenta aplicación práctica,
- b) el incumplimiento de unos criterios mínimos que permitan una clasificación adecuada del mismo, al ofrecer una descripción pobre o nula del procedimiento seguido en el estudio en cuanto a los objetivos, metodología, datos, resultados y conclusiones.

Respecto a los 27 artículos publicados en revistas científicas, se observa la gran variedad de éstas, no destacando ninguna de ellas por un elevado número de trabajos. De hecho, dentro de nuestra revisión, solamente 4 revistas tienen más de un trabajo publicado en las mismas. En concreto, los artículos reseñados han sido publicados en un total de 23 revistas, 18 de ellas (66%) están indexadas en las bases de datos en la categoría de Educación, y el resto en distintas áreas (ver Tabla 3.1).

| Categoría | Revista | Artículos¹ | |
|-----------------------------------|--|------------------------------|----|
| Educación (66%) | Journal of Engineering Education | 29 | |
| | Journal of Operational Research | 5 | |
| | Journal of Educational Measurement | 14, 25 | |
| | Journal of Educational and Behavioral Statistics | 26 | |
| | Academy of Educational Leadership Journal | 7 8 | |
| | International Journal of Science and Advanced Technology | 9 | |
| | Journal of Education for Business | 10 | |
| | Journal of Learning in Higher Education | 11 | |
| | Practical Assessment, Research and Evaluation | 11 | |
| | American Journal of Business Education | 12, 13 | |
| | International Journal of Services Technology and Management | 18 | |
| | Decision Sciences Journal of Innovative Education | 19, 24 | |
| | Journal of Chemical Education | 15 | |
| | College Teaching Methods & Styles Journal | 17 | |
| | European Journal of Engineering Education | 16,31 | |
| | Negocios (18%) | The TQM Magazine | 22 |
| | | Quality Progress | 28 |
| TQM Journal | | 4 | |
| The Journal of Services Marketing | | 30 | |
| C. Sociales (4%) | Psychometrika | 6 | |
| Economía (4%) | Panoeconomicus | 20 | |
| Ingeniería (4%) | Quality Engineering | 23 | |
| Estadística (4%) | Transactions on Statistics and Analysis | 1 | |

¹Ver referencia completa del trabajo en la Tabla A3.1 del Anexo del Capítulo 3

Tabla 3.1. Distribución de publicaciones por categoría de indexación

Fuente: elaboración propia

Es necesario resaltar que el 26% de las revistas incluidas en la Tabla 3.1 poseen factor de impacto JCR (Journal Citation Report), sin duda, el índice de impacto académico más reconocido internacionalmente y gestionado por la Web of Knowledge.

A continuación, mostramos en la Tabla 3.2 información relevante sobre las revistas de impacto, que aportan datos objetivos, que nos permite conocer la importancia y la calidad de las mismas en sus respectivas categorías.

No obstante, el resto de las revistas consultadas están indexadas o incluidas en bases de datos también de reconocida valía en la comunidad científica (Scopus, Scimago Journal and Country Rank –SJR-, Google Scholar, etc.).

| Revistas | Factor de Impacto | Categorías | Total revistas categoría | Posición | Cuartil | Nº total de citas |
|--|-------------------|---------------------------------------|--------------------------|----------|---------|-------------------|
| Journal of Educational and Behavioral Statistics | 1,225 | EDUCATION & EDUCATIONAL RESEARCH | 224 | 50 | Q1 | 1306 |
| | | SOCIAL SCIENCES, MATHEMATICAL METHODS | 13 | 5 | Q2 | |
| | | PSYCHOLOGY, MATHEMATICAL | 46 | 17 | Q2 | |
| Journal of Educational Measurement | 0,922 | PSYCHOLOGY, EDUCATIONAL | 55 | 36 | Q3 | 938 |
| | | PSYCHOLOGY, APPLIED | 76 | 44 | Q3 | |
| | | PSYCHOLOGY, MATHEMATICAL | 13 | 11 | Q4 | |
| Journal of Engineering Education | 2,059 | EDUCATION & EDUCATIONAL RESEARCH | 224 | 18 | Q1 | 1172 |
| Panoeconomicus | 0,77 | ECONOMICS | 333 | 178 | Q3 | 171 |
| Psychometrika | 1,085 | SOCIAL SCIENCES, MATHEMATICAL METHODS | 13 | 9 | Q3 | 7038 |
| | | PSYCHOLOGY, MATHEMATICAL | 46 | 22 | Q2 | |
| | | ENGINEERING, INDUSTRIAL | 43 | 35 | Q4 | |
| | | STATISTICS & PROBABILITY | 122 | 97 | Q4 | |
| The Journal of Services Marketing | 0,989 | BUSINESS | 115 | 78 | Q3 | 1508 |

Tabla 3.2. Información relevante sobre las principales revistas con publicaciones de aplicaciones del CEP en el ámbito educativo

Fuente: elaboración propia a partir de Journal Citation Report (JCR 2014)

b) Distribución temporal de los trabajos publicados

El Gráfico 3.1 muestra la distribución temporal de las publicaciones del CEP en el ámbito educativo para el periodo de tiempo revisado.

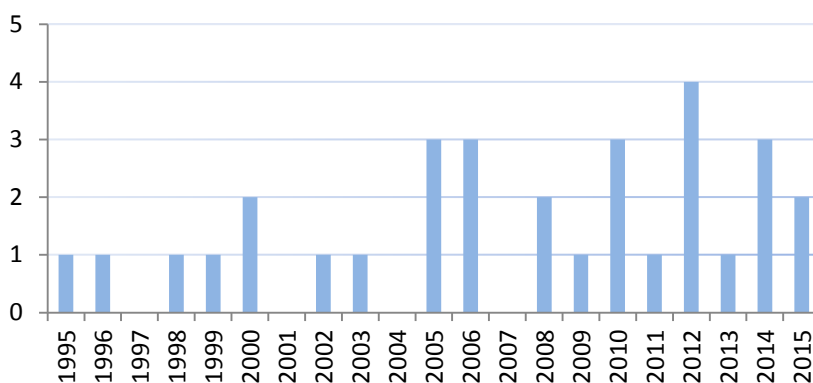


Gráfico 3.1. Distribución temporal de las publicaciones del CEP en el ámbito educativo (1995-2015) (número de artículos/año)

Fuente: elaboración propia

En un primer análisis, observamos cómo la producción científica del CEP en el ámbito educativo presenta una distribución irregular o poco homogénea en el intervalo de tiempo investigado. Sin embargo, si analizamos la información de manera agregada por periodos más reducidos de tiempo, observamos como el mayor porcentaje de trabajos se publica en la segunda mitad del intervalo de tiempo considerado (2005-2015) (aproximadamente el 74% del total de los artículos publicados). Y dentro de este periodo de tiempo, el mayor número de publicaciones del ámbito objeto de estudio se concentra en los últimos cinco años del periodo total (2010-2015), representando el 60% del total de la segunda mitad del periodo y el 44% del total del periodo. Por tanto, estos datos ponen de manifiesto el interés creciente que ha despertado en la comunidad científica la utilización de herramientas de gestión y control de la calidad en el ámbito educativo en los últimos años.

c) Otros aspectos de interés

En relación con la autoría de los trabajos seleccionados (ver Tabla A3.1), observamos que la mayoría de autores tienen sólo un trabajo publicado enmarcado en el campo de estudio de nuestra revisión. Sólo cuatro investigadores (Bakir, Grygoryev, Karapetrovic y Rajamani) han publicado más de un trabajo en el periodo de análisis (1995-2015).

Una posible explicación de esa ausencia de especialistas puede encontrarse en los criterios que hemos empleado para la selección de los artículos. Por un lado, nos hemos centrado solo en trabajos con aplicaciones prácticas, que no profundizan en el desarrollo teórico del CEP, además de acotar la búsqueda bibliográfica a un determinado horizonte temporal (21 años). Además, la búsqueda de artículos ha sido realizada en tres bases de datos (Abi Inform, Scopus y ERIC), existiendo la posibilidad de haber excluido del estudio, publicaciones relativas a nuestro campo de estudio, realizadas por especialistas en la materia.

Por lo que se refiere al número de autores que firman los trabajos, hay una clara tendencia al trabajo en coautoría (74%), frente al trabajo individual, en el que recogimos 8 trabajos (26%). En la Tabla 3.3 se muestra la distribución de los trabajos por número de autores.

| Nº Autores | Nº Trabajos | (%) |
|------------|-------------|-----|
| 1 | 8 | 26 |
| 2 | 12 | 39 |
| 3 | 8 | 26 |
| 4 | 2 | 6 |
| 5 | 1 | 3 |
| Totales | 31 | 100 |

Tabla 3.3. Número de autores de las publicaciones de CEP (1995-2015)
Fuente: elaboración propia

3.3.2. Contextualización de los estudios

A continuación presentamos los resultados obtenidos mediante el análisis contextual de los estudios seleccionados. Para ello, caracterizamos los trabajos en función del ámbito de aplicación del estudio, la disciplina o área educativa implicada, el objetivo principal de aplicación de la herramienta del CEP, el ámbito

geográfico y el periodo de realización de los estudios (Ver Tabla A3.2 del Anexo del Capítulo 3).

a) **Ámbito de aplicación**

Una vez leído y analizado el conjunto de trabajos seleccionados en la revisión, distinguimos cuatro ámbitos educativos de aplicación de CEP: universitario, evaluación a gran escala, TAI y preuniversitario.

Como se puede observar en el Gráfico 3.2, un alto porcentaje de los trabajos (83,9% del total) se desarrolla en el ámbito universitario. En las demás categorías, su aplicación hasta la fecha de revisión, puede considerarse marginal y probablemente con un gran futuro potencial de desarrollo.

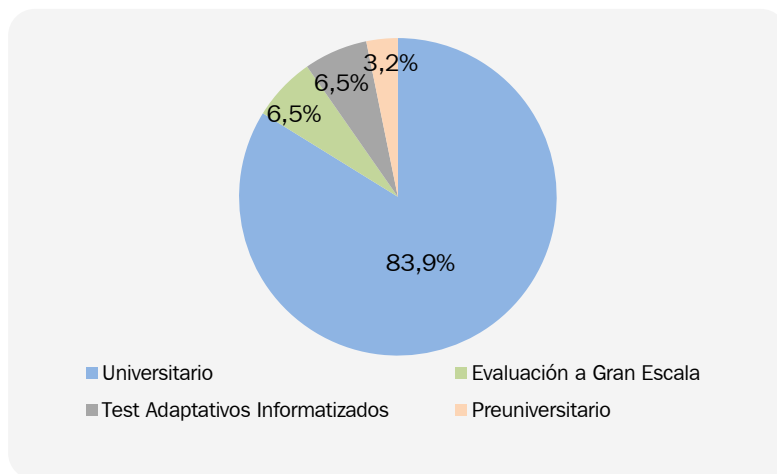


Gráfico 3.2. Clasificación de los trabajos por ámbito de aplicación (%)
Fuente: elaboración propia

Un 6,5% de los estudios se aplican en procesos de evaluación a gran escala, en los cuales los examinados han de acreditar sus capacidades en áreas concretas de conocimiento, con el fin de competir por un puesto de trabajo o la habilitación profesional (oposiciones, acreditación del nivel de inglés, pruebas de diagnóstico escolar, etc.). Son dos los trabajos recogidos en esta categoría, que, a diferencia de los incluidos en el ámbito universitario, son trabajos de mayor alcance, dado el volumen de datos manejado y con importantes partidas presupuestarias. Así pues, Lee et al. (2013) analizan las pruebas masivas de

acreditación en habilidades de un idioma a nivel internacional y Schafer et al. (2011) aplican los gráficos de CEP a los datos recogidos en las pruebas de diagnóstico escolar de primaria y secundaria.

Las pruebas masivas de acreditación lingüística están organizadas por instituciones a nivel internacional y tienen una intensa actividad. Por otro lado, las pruebas de diagnóstico escolares, son una práctica habitual de control educativo llevada a cabo en la mayoría de países desarrollados.

Respecto a los TAI, son pruebas construidas con fines de evaluación psicológica o educativa, que se administran y se responden a través del ordenador (Weiss y Kingsbury, 1984). Los test están conformados por un banco de ítems/preguntas calibrados según la “Teoría de la Respuesta al ítem”, de forma que se van generando preguntas del banco y, de acuerdo a la respuesta dada por el examinado, las nuevas preguntas se adaptan al perfil de éste (Fernández, 2010). En esta categoría recogemos los trabajos de Meijer (2002) y de Veerkamp y Glas (2000), que aplican en este ámbito el CEP para detectar pautas anormales en este tipo de pruebas informatizadas.

b) Área de estudio

En este apartado analizamos los trabajos en función del área o rama de conocimiento en la que pueden enmarcarse los datos para la aplicación del CEP (Tabla 3.4).

| Área de estudio | Nº artículos | Porcentaje (%) | Artículo ¹ |
|--------------------|--------------|----------------|---------------------------------------|
| Economía y Empresa | 14 | 45,2 | 1,5,7,9,10,12,13 14,18,19,20,22,23 |
| Ingeniería | 10 | 32,3 | 2,3,8,15,21,27 28,29,31,16 |
| Multidisciplinar | 4 | 12,9 | 4,24,26,30 |
| Idiomas | 1 | 3,2 | 6 |
| Conocimientos | 1 | 3,2 | 11 |
| Enfermería | 1 | 3,2 | 25 |

¹Ver referencia completa del trabajo en la Tabla A3.1 del Anexo del Capítulo 3

Tabla 3.4. Disciplina en las que se enmarcan los trabajos

Fuente: elaboración propia

Debemos resaltar el alto porcentaje de trabajos llevados a cabo con datos procedentes de áreas de conocimiento que incluimos dentro de la disciplina de “Economía y Empresa”, que incluyen diferentes aspectos, tal y como, dirección de operaciones, finanzas, marketing, etc.

Nos aventuramos a suponer las posibles causas de esta concentración y, creemos que puede atribuirse al hecho de que los autores de los trabajos señalados en esta categoría suelen ser profesores adscritos a Facultades de Economía y Empresa y que, al conocer la herramienta, muchas veces porque forma parte de su formación y docencia, deciden aplicarla para evaluar diferentes aspectos relacionados con la docencia que imparten. En este sentido, Karapetrovich y Rajamani (1998) manifiestan que:

“Para ayudar a las empresas manufactureras a gestionar con los problemas generados por el incremento en la competitividad, la calidad de los productos y procesos, y la reducción del mercado, las universidades han desarrollado un gran cantidad de técnicas y ha aportado valioso conocimientos avanzados en la rama de la ingeniería. Sin embargo, es tiempo de comenzar a aplicar las mismas técnicas que tenemos abandonadas en nuestro trastero. En otras palabras, las escuelas de ingeniería deberían comenzar a practicar lo que ellos predicán” (Karapetrovic y Rajamani, 1998, p. 275).

c) Objetivos

Con el fin de profundizar en la aplicación del CEP en el ámbito objeto de estudio nos centramos en este apartado en el análisis del propósito general de los mismos. Así pues, en base a la clasificación propuesta por MacCarthy y Wasusri (2002, p. 303), identificamos los siguientes objetivos:

1) Monitorizar el proceso. Es una de las aplicaciones más extendidas en el ámbito del CEP, cuyo propósito es la medida y el control de una variable con el fin de mantener la estabilidad de un proceso y en muchos casos como parte de un programa de mejora continua. El 71% de los artículos analizados lo consideran su objetivo principal (ver Gráfico 3.3).

2) Evaluar la satisfacción. Una utilización tradicional, aunque menos extendida que la anterior, la constituye la aplicación de los gráficos de CEP para evaluar el nivel de satisfacción/insatisfacción de los grupos de interés con un servicio o producto. En este campo, es donde la aplicación del CEP tiene un mayor potencial, incluido el ámbito objeto de nuestro análisis. En nuestro caso, el 23% de los trabajos seleccionados tienen como propósito evaluar la satisfacción de los estudiantes, no sólo para evaluar la actividad docente (en un sentido amplio), sino también para con los diferentes servicios prestados por las instituciones educativas (biblioteca, secretaría, servicios informáticos, otras infraestructuras, etc.).

3) Detectar comportamientos anormales. Otra alternativa de aplicación del CEP es la que tiene por objeto la identificación de observaciones que no entran en un rango establecido de valores o no siguen una pauta esperada. Tan solo dos de los trabajos analizados (6% del total) se incluyen en este apartado.

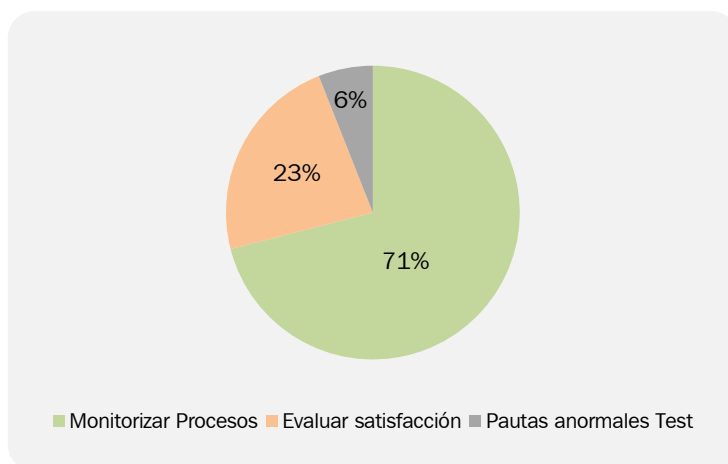


Gráfico 3.3. Clasificación de los trabajos publicados en función de los objetivos (% artículos)

Fuente: elaboración propia

d) Ámbito geográfico

Los resultados obtenidos, en relación al ámbito geográfico de los estudios, muestran la mayor concentración de estudios en América (66%) (ver Figura 3.4). Europa y Asia se sitúan en segunda posición, con un 14% de las publicaciones para cada continente y, finalmente, África y Oceanía con un 3% de los trabajos publicados²⁰ para cada uno.

²⁰ Se calcula sobre un total de 29 trabajos, tras excluir para el cálculo un artículo que se aplica en varios continentes a la vez (Lee y Von Davier, 2013), y otro trabajo que utiliza datos simulados para la aplicación práctica (Veerkamp y Glas, 2000).

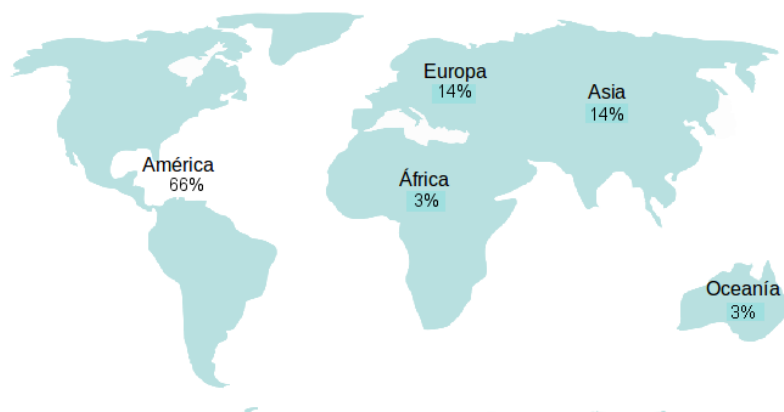


Figura 3.4. Distribución gráfica de publicaciones por continentes (% artículos)

Fuente: elaboración propia

Por países, destaca Estados Unidos, tanto en el continente americano (79%), como en el cómputo global de las publicaciones (51,72%) (Gráfico 3.4.)

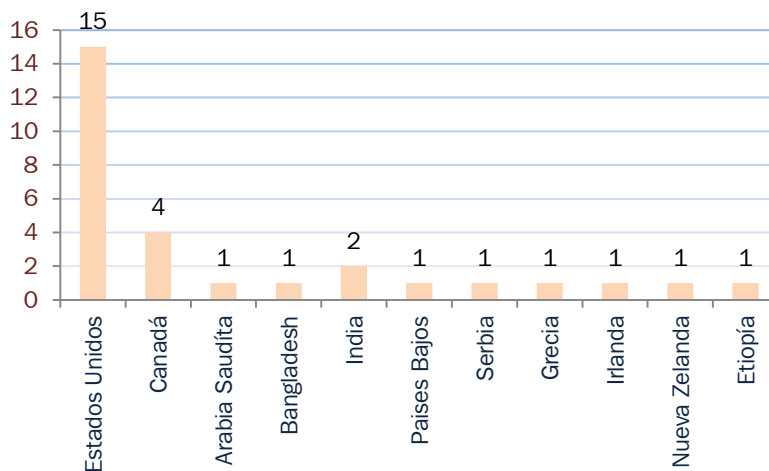


Gráfico 3.4. Distribución gráfica de publicaciones por países

Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 3.5, el 73,3% de los estudios localizados en Estados Unidos tienen como objetivo monitorizar el proceso, destacando por

disciplina, las aplicaciones en estudios de Economía y Empresa (54,54%) e Ingeniería (16,52%).

| Disciplina | | | | | | |
|----------------|-----------|---------------|------------|-----------------|-----------------------|------------|
| País | Objetivo* | Ec. y Empresa | Ingeniería | Multidisciplina | Conocimientos básicos | Enfermería |
| Estados Unidos | (1) | 6 | 3 | 1 | 1 | - |
| Canadá | (1) | 2 | 2 | - | - | - |
| India | (1) | - | 1 | - | - | - |
| India | (2) | - | - | 1 | - | - |
| Arabia Saudí | (1) | 1 | - | - | - | - |
| Bangladesh | (1) | 1 | - | - | - | - |
| Países Bajos | (3) | - | - | - | - | 1 |
| Serbia | (1) | 1 | - | - | - | - |
| Grecia | (2) | 1 | - | - | - | - |
| Irlanda | (1) | - | 1 | - | - | - |
| Nueva Zelanda | (1) | - | 1 | - | - | - |
| Etiopía | (1) | - | 1 | - | - | - |

*(1) Monitorizar el proceso (2) Satisfacción del cliente y (3) Detección

Tabla 3.5. Distribución de los estudios por ámbito geográfico, objetivo y área de conocimiento (nº estudios)

Fuente: elaboración propia

d) Ámbito temporal

A continuación hemos clasificado los trabajos en función del horizonte temporal considerado en sus estudios²¹ (ver Gráfico 3.5). El mayor porcentaje de los estudios (73,3%) se han realizado en un intervalo inferior a 4 años, siendo menos frecuente los estudios que realizan sus investigaciones en un periodo de tiempo superior.

²¹ El horizonte temporal de los estudios no es explicitado en todos los artículos analizados. Sólo el 48,4% de los mismos lo especifica.

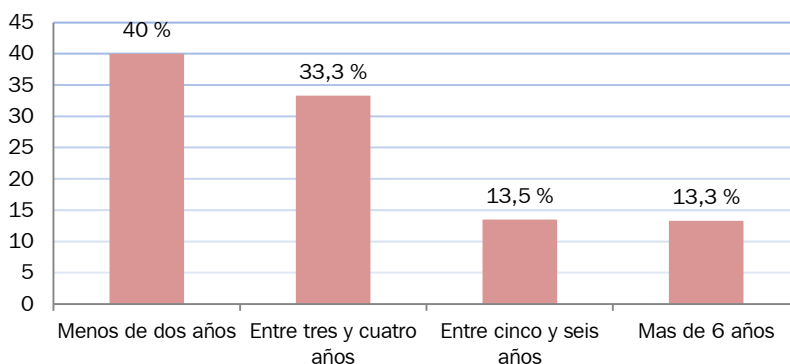


Gráfico 3.5. Artículos según la duración de la realización del estudio (% sobre total de estudios)

Fuente: elaboración propia

3.3.3. Diseño y desarrollo de los estudios

En este apartado analizamos los resultados obtenidos respecto a los principales aspectos que afectan al diseño y desarrollo de una aplicación del CEP (ver Tabla A3.3 del Anexo del Capítulo 3), que fueron abordados en el Apartado 2.2 (ver Figura 2.2). Se trata de las características de la calidad a medir y controlar, los instrumentos y unidades de medida y por último, el tipo de gráfico utilizado.

a) Característica de la calidad

A diferencia de lo que ocurre en otros ámbitos de aplicación del CEP en el sector servicios, como el de la salud, sector de alimentación o desarrollo de software, el reducido número de variables o características de la calidad analizadas en los estudios objeto de nuestro análisis, muestran el reducido ámbito de aplicación que el CEP ha tenido en nuestro campo de estudio, el ámbito educativo (Lim et al., 2014; Thor et al., 2007; Jacob y Pillai, 2003).

Tal y como se muestra en la Tabla A3.3 del Anexo del Capítulo 3, los estudios analizados se centran básicamente en los outputs de un proceso (actitud, puntuaciones, aprendizaje obtenido, satisfacción y pautas de respuestas a ítems de preguntas), predominando los estudios que controlan las puntuaciones de los sujetos evaluados (estudiantes, opositores, etc.), que no siempre coincide con el rendimiento académico de aquellos. Este último se refiere a datos, tales como la

Media del Expediente Académico²² o la calificación obtenida en una o varias asignaturas, según el estudio que se trate.

En esta categoría de estudios, el CEP se implementa como herramienta de gestión y control de la calidad, y concretamente para controlar y mejorar el rendimiento o desempeño de los estudiantes, tomando como instrumento de medida, las calificaciones obtenidas por los alumnos en las asignaturas cursadas.

En la muestra de trabajos revisados, el 29% de los estudios utilizan el rendimiento académico (calificaciones académicas) (ver Tabla 3.6), una medida objetiva y cuantitativa diseñada para medir el rendimiento, y aceptada de forma generalizada en el entorno educativo y en el campo de la investigación educativa. Prueba de ello es la abundancia de la literatura, que bajo diferentes enfoques y con distintos objetivos, evalúan el éxito y el progreso académico de los estudiantes (Lubis et al., 2012; Rode et al., 2007).

²² Conocida en la literatura anglosajona por Grade Point Average (GPA). Para su cálculo se toman las puntuaciones obtenidas por los estudiantes a lo largo de un periodo de tiempo en su permanencia en un programa académico y se calcula su valor medio.

| Característica de calidad | Artículos | % | Artículo ¹ |
|---|-----------|-----|---------------------------|
| Actitud e interés del alumno en asignaturas | 1 | 3 | 27 |
| Efectividad del proceso enseñanza-aprendizaje | 7 | 23 | 7, 16, 22, 23, 28, 29, 31 |
| Proceso de puntuaciones | 5 | 16 | 6, 8, 14,19,21 |
| Rendimiento académico | 9 | 29 | 1,2,3,9,10, 11,12,13,15 |
| Satisfacción del estudiante | 7 | 23 | 4, 5, 17, 18, 20, 24, 30 |
| Pautas anormales en TAI | 2 | 6 | 25,26 |
| Total | 31 | 100 | |

¹Ver referencia completa del trabajo en la Tabla A3.1 del Anexo del Capítulo 3

Tabla 3.6. Características de calidad de los trabajos analizados

Fuente: elaboración propia

La otra alternativa al rendimiento académico para evaluar los resultados es la asignación de una puntuación (valoración). En este caso, los trabajos tienen como objetivo monitorizar las escalas de puntuaciones o bien evaluar la consistencia de las puntuaciones en procesos de co-evaluación. Estos suponen en nuestra revisión bibliográfica un porcentaje del 16% de la muestra analizada. Cabe destacar que los procesos de calificación son uno de los aspectos más delicados en las instituciones educativas y los resultados académicos medidos con los sistemas de calificación son los que pueden generar mayores consecuencias en los estudiantes. Por este motivo, son muchos los esfuerzos que se llevan a cabo en el ámbito educativo para que el sistema de calificaciones empleado esté sometido a regulaciones y estándares, que permitan y faciliten la evaluación y la comparación entre programas académicos, como es el caso de la implantación del Sistema Europeo de Transferencia de Créditos (European Credit Transfer and Accumulation System –ECTS-).

La efectividad del proceso enseñanza-aprendizaje es otra variable de la calidad muy estudiada (23%) y valorada en los diferentes estudios académicos. Normalmente, la técnica que se emplea para este proceso de monitorización consiste en administrar a los estudiantes, en un momento inicial, un test inicial (pre-test), cuyo fin es determinar el grado de conocimiento previo que el alumno tiene con respecto a alguna cuestión. Después de la actividad docente

desarrollada se administra el post-test a los alumnos con las mismas cuestiones tratadas en el pre-test. El tratamiento de estos datos dará como resultado una medida objetiva del aprendizaje obtenido por el alumno, como consecuencia de las actividades de aprendizaje. El uso de los tests en estos casos no se utiliza para las calificaciones, sino como medida de control que permite a profesores y alumnos identificar los contenidos que pueden presentar problemas de asimilación por parte de los alumnos y, por parte del profesor, mejorar las estrategias docentes y, poder tomar acciones para asegurar que se cumplan los objetivos de aprendizaje. Estas técnicas se enmarcan dentro de estrategias docentes más amplias, que van dirigidas para asegurar el cumplimiento de los objetivos planteados acerca de las competencias, habilidades y conocimientos que se pretende que los alumnos adquieran en una asignatura determinada y que además incluyen la evaluación basada en rúbricas de los objetivos de aprendizaje (Green et al., 2012).

La otra variable analizada en los estudios con mayor peso (23%) es el nivel de satisfacción de los estudiantes, tanto en relación con la evaluación de la actividad docente (evaluación del personal docente) (5 de esos trabajos), como en la valoración de diferentes servicios prestados por las instituciones universitarias (actividades deportivas y culturales, servicios informáticos, etc.). Variable directamente relacionada con otra característica de la calidad muy estudiada, como es la efectividad del proceso enseñanza-aprendizaje (23%).

Así pues, dentro de este último grupo, Jensen y Markland (1996) aplican el CEP para evaluar la satisfacción de los estudiantes con los servicios universitarios de informática, y Debnath y Shankar (2014) evalúan la satisfacción del estudiante con el proceso académico en general, teniendo en cuenta varios parámetros, como el proceso de gestión de reclamaciones, apoyo institucional para actividades extraescolares como el deporte y actividades culturales, interacción universidad-empresa, entre otros.

Y por último, un 6% de los estudios seleccionados definen como característica de calidad a medir “la pauta de respuesta a ítems de preguntas”. Estos trabajos en su totalidad se desarrollan en el ámbito específico de los TAI. En este aspecto, se entiende que las herramientas estadísticas para llevar a cabo la detección de pautas anormales en los TAI están bastante asentadas y existe una amplia literatura al respecto. De hecho, los autores que firman los trabajos incluidos en

nuestra revisión (R. Meijer y W. Veerkmap) son reconocidos ampliamente por sus aportaciones en el ámbito técnico de los TAI, más que en el campo educativo propiamente dicho.

b) Instrumentos de medida

El Gráfico 3.6 muestra los diferentes instrumentos utilizados para medir la característica de la calidad en las aplicaciones del CEP en el ámbito educativo, así como el porcentaje que representa cada uno de ellos sobre el total de los estudios revisados.

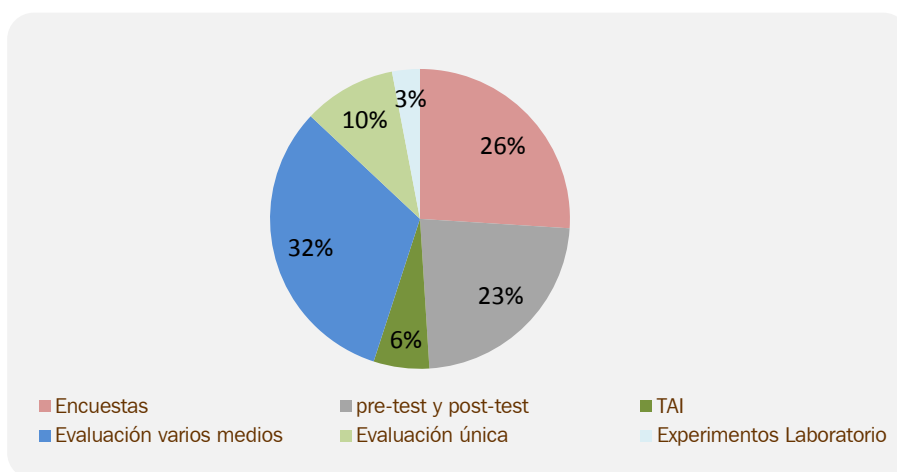


Gráfico 3.6. Clasificación de los trabajos publicados por tipo de instrumentos de medida (%)

Fuente: elaboración propia

Cabe resaltar la relación directa entre el instrumento utilizado y la característica de la calidad controlada en los estudios analizados (ver Tabla 3.5). Así pues, en los estudios donde se evalúa las puntuaciones, el medio utilizado son las pruebas de evaluación (evaluación mediante varios medios, evaluación única, experimento laboratorio) (45% del total); en los que se centran en el análisis de la satisfacción/insatisfacción y actitud e interés de los estudiantes, la medición se realiza a través de encuestas (26%); en los que se evalúa la efectividad del proceso de enseñanza-aprendizaje se utilizan los pre-tests y post-test (23%), y

por último, los TAI²³ son utilizados para detectar pautas anormales en los procesos de evaluación masiva, que representan un 6% de los estudios analizados.

c) Unidad de medida

Otro de los aspectos a destacar en el diseño del estudio de CEP, son las unidades de medida que se van a utilizar y que guardan también una relación estrecha con la característica de la calidad a medir y el medio o instrumento de medición. En el Gráfico 3.7 se muestra la distribución de los estudios en función de la unidad de medida utilizada en las investigaciones.

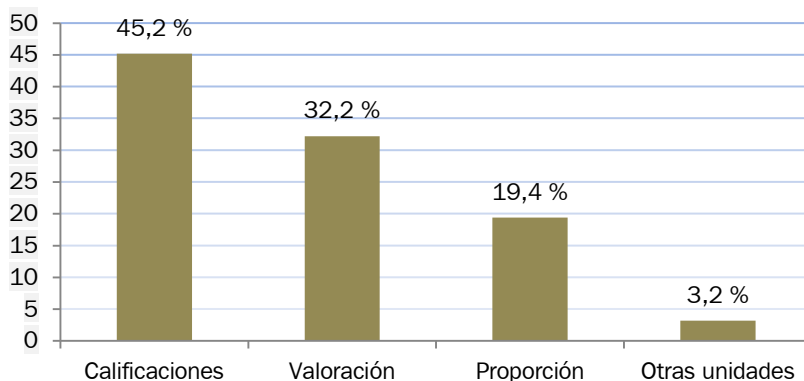


Gráfico 3.7. Distribución de las publicaciones en función de las unidades de medida (% estudios)

Fuente: elaboración propia

El mayor porcentaje de los estudios utiliza como unidad de medida la calificación (45,2%) y valoración (32,2%) de los estudiantes. La diferencia entre estos dos aspectos radica fundamentalmente en que la primera suele ser el resultado de una prueba de evaluación objetiva (que tiene relación con la característica de calidad “puntuaciones”), mientras que el segundo concepto es útil para permitir que, de alguna manera, una opinión subjetiva pueda ser medida o valorada (y tiene relación directa con las características de calidad “satisfacción” y “opinión del estudiante”).

²³ Los TAI son un ámbito específico de investigación y aunque, lo calificamos como instrumento, es, en sí mismo, un campo de estudio concreto y formal.

A excepción de un único trabajo (Shazmann et al., 2009), que aplica el CEP en una práctica de laboratorio de química, el resto de trabajos utilizan como unidad de medida la proporción de estudiantes que cumplen una determinada característica de la calidad (19,4%).

d) Tipo de gráfico utilizado

Los resultados del análisis correspondiente a la tipología de gráficos de control utilizados en los estudios, se muestran en la Tabla 3.7, siguiendo la clasificación propuesta en el Capítulo 2 (ver Cuadro 2.2).

| Grupo | Gráfico | Nº artículos | % | Referencia ¹ |
|-------|-----------------|-----------------|------|---|
| I | G. Shewhart | 12 | 44,5 | 2,3,5,7,8,11,14 15,17,18 ² ,20,24 |
| II | G. Atributo | 9 | 33,3 | 4,10,16,19,22 23,28,29,31 |
| III | G. con Memoria | 3 | 11,1 | 6,25,26 |
| IV | G. Multivariado | 3 | 11,1 | 21,27,30 |
| Total | | 27 ³ | 100 | |

¹Ver referencia completa del trabajo en la Tabla A3.1 del Anexo del Capítulo 3.

² Se puede incluir también en el grupo II, porque también utiliza gráficos de atributos.

³ El cálculo se realiza sobre 27 artículos, ya que encontramos 4 artículos en la revisión que no aplican los gráficos de la tabla, sino que proponen su propio estadístico.

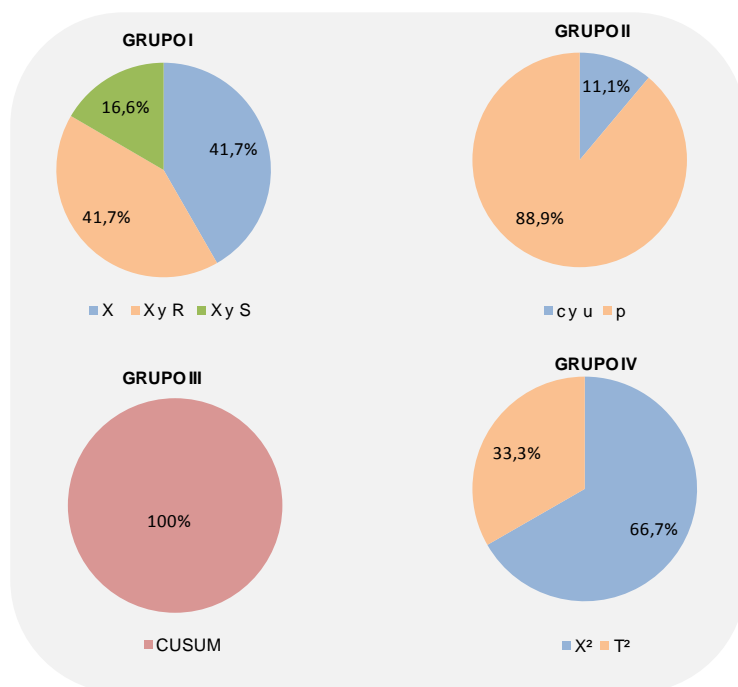
Tabla 3.7. Distribución de las publicaciones por tipo de gráfico de control aplicado
Fuente: elaboración propia

Podemos observar como un porcentaje considerable de los trabajos emplean los gráficos de control univariados en sus aplicaciones (Grupos I y III) (55,6%), seguido de aquellos trabajos que utilizan gráficos de control por atributos (Grupo II) (33%) y, finalmente tenemos aquellos que utilizan gráficos de control multivariados (Grupo IV) (11,1%).

Con respecto a los gráficos tradicionales Shewhart de características variables de calidad, hemos encontrado que el 41,7% de estos trabajos utilizan los Gráficos *X*, igual proporción representan en este grupo los trabajos que utilizan Gráficos *X* y *R*, mientras que el 16,6% de los trabajos utilizan Gráficos *X* y *S* (Cuadro 3.1).

En cuanto a los trabajos que utilizan los gráficos de control tradicionales de atributos, el 88,9% (8 trabajos) utiliza el gráfico *p*, y sólo encontramos 1 trabajo que utiliza Gráficos *c* y *u*.

La distribución por tipo de gráfico con respecto al Grupo III de la Tabla 3.6, en la que se recogen 3 trabajos, el 100% utiliza gráficos CUSUM. Finalmente, en el grupo multivariado, el 66,7% corresponde a trabajos que utilizan el Gráfico χ^2 y el 33,3% restante (1 artículo) utiliza el Gráfico T^2 de Hotelling.



Cuadro 3.1. Distribución de artículos por tipo de gráficos (% artículos)

Fuente: elaboración propia

Nota: para identificar el tipo de gráfico de control, ver el Cuadro 2.1

3.3.4. Resultados

En cuanto a los resultados, hemos hecho énfasis en los beneficios y limitaciones expresados en los trabajos revisados, más que en los resultados analíticos. Aunque la mayoría de los trabajos no contienen un apartado de beneficios/limitaciones, esta información la hemos extraído, en la mayor parte de los casos, de las conclusiones de los estudios.

En relación a los factores motivacionales de la aplicación del CEP, al igual que en otros sectores (alimentación, la sanidad, etc.), la revisión realizada revela la adopción de un enfoque eminentemente proactivo (por la propia voluntad de los responsables o personas implicadas en diferentes tareas docentes o servicios educativos), destacando la ausencia de un enfoque reactivo (hacer frente a regulaciones, presiones o amenazas para evitar efectos adversos).

Así pues, los beneficios asociados a la aplicación del CEP en el ámbito educativo se pueden agrupar en las siguientes categorías:

1. Facilita la implantación de procesos de mejora en el ámbito educativo (y por consiguiente la mejora de la calidad de los servicios prestados). Concretamente, mediante:
 - Identificación de áreas de mejora (áreas fuera de control).
 - Identificación de causas de variación de los procesos.
 - Evaluación de impacto de cambios en el proceso.
2. Herramienta útil en los procesos de evaluación de la actividad docente y de otros servicios universitarios
3. Otros beneficios:
 - Proporciona una herramienta útil y no costosa para controlar procesos de evaluación masiva en el ámbito educativo.
 - Ayuda a los stakeholders (estudiantes y profesores) a aprender de sus propios procesos.
 - Presenta otras ventajas adicionales sobre otras herramientas.

En el Cuadro 3.2, se recopila algunos ejemplos de los beneficios anteriores, transcritos y traducidos literalmente de los artículos seleccionados.

| Beneficios | Artículos ¹ | Algunas referencias |
|---|----------------------------------|---|
| Facilitar la implantación de procesos de mejora en el ámbito educativo | | |
| Identificación de áreas de mejora | 3, 20, 9, 12, 18, 23, 27, 28, 31 | <p><i>"Un gráfico de control con límite superior e inferior puede ser usado conjuntamente con un plan de mejora continua para mejorar los procesos en la educación superior"</i> (Mazumder, 2014 p. 12).</p> <p><i>"Los gráficos de control son muy útiles para evaluar los procesos de clase y determinar cuándo el sistema necesita o no una intervención"</i> (Manguad, 2006, p. 11).</p> |
| Identificación de causas de variación de los procesos | 6, 21, 10, 18, 26, 30 | <p><i>"Los resultados de esta aplicación muestran que el uso conjunto de las "Pruebas Modificadas de Conocimiento Previo" y los gráficos de atributos del CEP, son útiles para detectar condiciones fuera de control en los procesos de enseñanza-aprendizaje, información que los docentes pueden posteriormente analizar y mejorar la transferencia de conocimiento"</i> (Grygoryev y Karapetrovic, 2005b, p. 417).</p> <p><i>"..... cuando se utilizan conjuntamente los modelos de regresión armónica y los gráficos Shewhart, éstos resultan útiles para el proceso de monitorización continua, y el gráfico CUSUM y el Modelo de Cambio de Punto resultaron útiles en la detección del punto de cambio en nuestros datos"</i> (Lee y Von Davier, 2013, p. 573).</p> |

Cuadro 3.2. Beneficios de la aplicación de los gráficos de control en el ámbito educativo

| Beneficios | Artículos¹ | Algunas referencias |
|---|------------------------------|--|
| Evaluación de impacto de cambios en el proceso | 7, 22, 23 | "Este estudio provee un ejemplo práctico del diseño de un proceso para producir servicios que alcancen los objetivos de aprendizaje y controlar el proceso a través del CEP" (Green et al. 2012, p.12). |
| Herramienta útil en los procesos de evaluación | | |
| Actividad docente | 5,17, 18 20,24 | "En este trabajo desarrollamos un enfoque estadístico basado principalmente en el CEP, el cual puede ser utilizado con el fin de sacar el máximo provecho a las evaluaciones de la actividad docente" (Nikolaidis y Dimitriadis, 2014, p. 199). "..... los gráficos del CEP puede aportar un antídoto para los altos niveles de tensión y ansiedad que conllevan los procesos de evaluación docente, el uso inadecuado de los datos por los administradores universitarios, y la prevención de prácticas manipulativas para obtener mejores valoraciones" (Marks y O'Connell 2003, p. 270). |
| Otros servicios universitarios | 4, 30 | "La aplicación del CEP puede ser beneficiosa en el sector de la educación para mejorar la calidad del servicio y aumentar la satisfacción del cliente. Su técnica estadística ayuda a reducir la variabilidad presente en un proceso" (Debnath y Shankar, 2014, p.15). |
| Otros beneficios | | |
| Proporciona una herramienta útil y no costosa para controlar procesos de evaluación masiva en el ámbito educativo | 11, 14, 19 | "...nosotros mencionamos una serie de tópicos en los cuales el uso de los gráficos podría resultar útil para monitorizar la calidad de los procesos de evaluación masiva" (Schafer et al., 2011, p.6). |
| Ayuda a los stakeholders (estudiantes y profesores) a aprender de sus propios procesos | 9, 18, 25 | "A nivel individual, un gráfico CUSUM puede ser usado para dar al examinado señales en cuanto a su propio pauta de respuestas" (Meijer, 2002, p. 231). |
| Presenta otras ventajas adicionales sobre otras herramientas | 8, 25, 26 | "Una de las ventajas de utilizar el procedimiento CUSUM sobre el método P&P para establecer el encaje estadístico de la persona, es que, en los gráficos queda inmediatamente claro dónde se sitúa el área de comportamiento aberrante" (Meijer, 2002, p. 231). |

¹Ver referencia completa de los artículos en la Tabla A3.1 del Anexo del Capítulo 3

Cuadro 3.2. Beneficios de la aplicación de los gráficos de control en el ámbito educativo (continuación)

Fuente: elaboración propia

No obstante, como en cualquier otro ámbito de aplicación, hay varios factores que pueden limitar el uso de estas técnicas en las instituciones educativas, para que no obtengan el máximo provecho de la aplicación.

Las limitaciones del uso de esta técnica identificadas en este trabajo se derivan principalmente de los datos utilizados, que puedan llevar a un uso incorrecto de los gráficos de control, la falta de conocimiento del potencial o aplicabilidad de estas técnicas en el ámbito educativo, a diferencia de otros sectores, y por último, la percepción negativa de la herramienta por parte de los sujetos implicados en los procesos y servicios educativos, al ser considerada como un posible instrumento de amenaza.

Al igual que en el apartado de los beneficios, en el Cuadro 3.3, se recopila algunos ejemplos de las limitaciones anteriores, reproducidos literalmente de los artículos seleccionados.

| Limitaciones | Artículos¹ | Algunos referencias |
|---|------------------------------|---|
| Requisitos estadísticos para la aplicación de los gráficos de control | 1, 2, 5, 11, 13, 17, 18, 27 | "Los gráficos de control X de Shewhart (o de media) requieren que el proceso siga una distribución normal. Si el proceso no está normalmente distribuido, el gráfico de control X puede presentar una especificación incorrecta de los límites de control, la longitud promedio de corrida y la ratio de falsa alarma" (Bakir et al., 2015, p 14). |
| Falta de conocimiento del potencial o aplicabilidad de estas técnicas en el ámbito educativo | 10, 14, 29 | "Parece que las valoraciones sobre la calidad del docente y otros aspectos de este instrumento de evaluación no siguen una distribución normal. Esta puede ser la razón por la que el sistema no está bajo control" (Cadden et al., 2008, p. 43). "Es posible que la práctica de la mejora continua no haya penetrado suficiente en la administración académica, debido a la falta de conciencia de la forma en la que el CEP puede ser usado para facilitar el entendimiento del rango de resultados que pueden esperarse bajo circunstancias normales y como punto de partida para futuras mejoras en desarrollo" (Hanna et al., 2012, p. 72). "Sin embargo, debido a que el CEP no ha sido aplicado aún a esa clase de procesos, la técnica, sus beneficios y desventajas sobre datos empíricos no está lo suficientemente difundida" (Omar, 2010, p. 34). |

| | | |
|--|---|--|
| <p>Percepción negativa de la herramienta por parte de los sujetos implicados en los procesos y servicios educativos, al ser considerados como un instrumento de amenaza</p> | 2 | <p>"Nosotros entendemos que la aplicación académica de los conceptos presentados en este trabajo pueden crear alguna controversia. Ver la universidad como un sistema de producción y, sugerir rigurosos métodos de ingeniería para controlar la variación en los procesos educativos son ejemplos de conceptos que algunos lectores pueden llegar a considerar demasiado radicales" (Karapetrovic y Rajamani, 1998, p. 275).</p> <p>"Cuando los resultados son utilizados como parte de las políticas de medida del rendimiento docente, promoción y estabilidad en el puesto de trabajo, se puede generar una fuerte presión sobre la facultad con miras a alcanzar las medidas estándar. Esta presión puede generar una distorsión en los datos (por ejemplo, utilizando exámenes/trabajos más fáciles para medir el rendimiento de los estudiantes o criterios más indulgentes de medición del rendimiento) o distorsión del proceso (por ejemplo enseñando para la prueba de evaluación)" (Peterson, 2015, p. 8).</p> |
|--|---|--|

¹ Ver referencia completa de los artículos en la Tabla A3.1 del Anexo del Capítulo 3

Cuadro 3.3. Limitaciones de la aplicación de los gráficos de control en el ámbito educativo

Fuente: elaboración propia

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrawal, D.K. y Khan, Q.M. (2008). A quantitative assessment of classroom teaching and learning in engineering education. *European Journal of Engineering Education*, 33 (1), 85-103.
- Bakir, S., Prater, T. y Kiser, S. (2015). A simple nonparametric quality control chart for monitoring student's GPAs. *SOP Transactions on Statistics and Analysis*, 2 (1), 8-16.
- Bakir, S.T. (2010). A nonparametric test for homogeneity of variances: Application to GPAs of students across academic majors. *American Journal of Business Education*, 3 (3), 47-54.
- Bakir, S.T. y McNeal, B. (2010). Monitoring the level of students' GPAs over time. *American Journal of Business Education*, 3 (6), 43-50.
- Beshah, B. (2012). Students' performance evaluation using statistical quality control. *International Journal of Science and Advanced Technology*, 2 (12), 75-79.
- Besterfield-Sacre, M., Amaya, N.Y., Shuman, L.J. y Atman, C.J. (1998). Implications of statistical process monitoring for ABET 2000 program evaluation: An example using freshman engineering attitudes. *American Society of Engineering Education 1998 Proceedings*.
- Cadden, D., Driscoll, V. y Thompson, M. (2008). Improving teaching effectiveness through the application of SPC methodology. *College Teaching Methods & Styles Journal*, 4 (11), 33-46.
- Cervetti, M.J., Royne, M.B., y Shaffer, J.M. (2012). The use of performance control charts in business schools: A tool for assessing learning outcomes. *Journal of Education for Business*, 87 (4), 247.
- Debnath, R. M., y Shankar, R. (2014). Emerging trend of customer satisfaction in academic process. *TQM Journal*, 26 (1), 14-29.
- Ding, X., Wardell, D. y Verma, R. (2006). An Assessment of Statistical Process Control-Based Approaches for Charting Student Evaluation Scores. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 4 (2), 259-272.

EduClick, sistema de docencia presencial basado en mandos electrónicos de respuesta. Disponible: <http://www.educlick.es/>. Fecha último acceso: mayo 2014.

Edwards, H. P., Govindaraju, K. y Lai, C. D. (2005). A control chart procedure for monitoring university student grading. *International Journal of Services Technology and Management*, 8 (4-5), 344-354.

Fernández, J.M. (2010). Las teorías de los tests: teoría clásica y teoría de respuesta a los ítems. *Papeles del psicólogo*, 31 (1), 57-66.

Green Jr., K.W., Toms, L. y Stinson, T. (2012). Statistical process control applied within an education services environment. *Academy of Educational Leadership Journal*, 16 (2), 33-46.

Grygoryev, K., y Karapetrovic, S. (2005a). An integrated system for educational performance measurement, modeling and management at the classroom level. *The TQM Magazine*, 17 (2), 121-136.

Grygoryev, K., y Karapetrovic, S. (2005b). Tracking classroom teaching and learning: An SPC application. *Quality Engineering*, 17 (3), 405-418.

Guirao-Goris, J.; Olmedo, A.; Ferrer, E. (2008): "El artículo de revisión". *Revista Iberoamericana de Enfermería Comunitaria*, 1, 1-6.

Hanna, M. D., Raichura, N. y Bernardes, E. (2012). Using statistical process control to enhance student progression. *Journal of Learning in Higher Education*, 8 (2), 71-82.

Hernández, R; Fernández, C. y Baptista, P. (2003): *Metodología de la Investigación*, Ed. McGraw-Hill, México.

Heron, P. y Schwartz, C. (2006): "Peer review revisited". *Library & information science research*, 28 (1), 1-3.

Jacob, A. L., y Pillai, S.K. (2003). Statistical process control to improve coding and code review. *IEEE software*, (3), 50-55.

Jensen, J. B., y Markland, R.E. (1996). Improving the application of quality conformance tools in service firm. *The Journal of Services Marketing*, 10 (1), 35-55.

Karapetrovic, S., Rajamani, D. y Willborn, W.W. (1999). University, inc. *Quality Progress*, 32 (5), 87-95.

Karapetrovic, S. y Rajamani, D. (1998). An approach to the application of statistical quality control techniques in engineering courses. *Journal of Engineering Education*, 87 (3), 269-276.

Lee, Y. y Von Davier, A.A. (2013). Monitoring scale scores over time via quality control charts, model-based approaches, and time series techniques. *Psychometrika*, 78 (3), 557-575.

Lim, S.A.H., Antony, J. y Albliwi, S. (2014). Statistical Process Control (SPC) in the food industry—A systematic review and future research agenda. *Trends in Food Science & Technology*, 37 (2), 137-151.

Lubis, S.H., Ridzuan, S., Ishak, I. Y., Othman, H. F., Mohammed, N., Hamid, Z. A. y Izham, M. (2012). The Relationship between Time Spent on Facebook and Cumulative Grade Point Average (CGPA) Among Third Year Biomedical Science Students in Faculty Health Sciences, UKM. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 60, 590-595.

MacCarthy, B.L. y Wasusri, T. (2002). A review of non-standard applications of statistical process control (SPC) charts. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 19 (3), 295-320.

Manguad, B.A. (2006). Using SPC to assess performance in a graduate course of business. . ANNUAL MEETING; 13th, American Society of Business and Behavioral Sciences; 2006; Las Vegas, NV

Marks, N., y O'Connel, T. (2003). Using statistical control charts to analyse data from students evaluations of teaching. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 1 (2), 259-272.

Mazumder, Q.H. (2014). Applying six sigma in higher education quality improvement. *121st ASEE Annual Conference & Exposition June 15-18, 2014. Paper ID 8594*, Indianapolis,IN.

Medina, C; Marín, J. y Alfalla, R. (2010): "Una propuesta metodológica para la realización de búsquedas sistemáticas de bibliografía ". *Working Papers on Operations Management*, 1 (2), 13-30.

Meho, L. y Rogers, Y. (2008): "Citation counting, citation ranking, and h-index of human-computer interaction researchers: a comparison of Scopus and Web of

Science". *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 59 (11), 1711-1726.

Meijer, R.R. (2002). Outlier detection in high-stakes certification testing. *Journal of Educational Measurement*, 39 (3), 219-233.

Nikolaidis, Y. y Dimitriadis, S.G. (2014). On the student evaluation of university courses and faculty members' teaching performance. *European Journal of Operational Research*, 238 (1), 199-207.

Omar, M.H. (2010). Statistical process control charts for measuring and monitoring temporal consistency of ratings. *Journal of Educational Measurement*, 47 (1), 18-35.

Peterson, S.J. (2015). Benchmarking student learning outcomes using Shewhart control charts. *51st ASC Annual International Conference Proceedings April 22nd to April 25th, 2015*, Texas.

Pierre, C.B. y Mathios, D. (1995). Statistical process control and cooperative learning structures: A data assessment and. *European Journal of Engineering Education*, 20 (3), 377-384.

Rode, J., Mooney, C., Arthaud-Day, M., Near, J., Baldwin, T., Rubin, R. y Bommer, W. (2007). Emotional intelligence and individual performance: Evidence of direct and moderated effects. *Journal of Organizational Behavior*, 28, 399-421.

Roussos, A. (2011): "Preparación de una revisión bibliográfica para su publicación cuando un solo artículo nos habla de muchos trabajos". *Fundación para la Investigación en Ciencias Sociales, Reportes de investigación*, 1, 1-7.

Savic, M. (2006). P-charts in the quality control of the grading process in the high education. *Panoeconomicus*, 3, 335-347.

Schafer, W.D., Coverdale, B.J., Luxenberg, H., y Jin, Y. (2011). Quality control charts in large-scale assessment programs. *Practical Assessment, Research and Evaluation*, 16 (15), 1-7.

Schazmann, B., Regan, F., Ross, M., Diamond, D., y Paull, B. (2009). Introducing quality control in the chemistry teaching laboratory using control charts. *Journal of Chemical Education*, 86 (9), 1085.

Stirling D. (2001): "Book review: Its strengths and weaknesses". *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 52 (11), 984-985.

Thor, J., Lundberg, J., Ask, J., Olsson, J., Carli, C., Hårenstam, K. P. y Brommels, M. (2007). Application of statistical process control in healthcare improvement: systematic review. *Quality and Safety in Health Care*, 16 (5), 387-399.

Tranfield, D. R., Denyer, D. y Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14, 207-222.

Veerkamp, W.J.J. y Glas, C.A.W. (2000). Detection of known items in adaptive testing with a statistical quality control method. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 25 (4), 373-389.

Weiss, D.J., y Kingsbury, G.G. (1984). Application of computerized adaptive testing to educational problems. *Journal of Educational Measurement*, 21, 361-375.

Capítulo 4

Control y mejora de la calidad
en la enseñanza universitaria:
una aplicación del CEP

Control y mejora de la calidad en la enseñanza universitaria: una aplicación del CEP

En este Capítulo, bajo la consideración del marco teórico descrito en los Capítulos 2 y 3, exponemos el desarrollo del trabajo realizado para alcanzar el Objetivo 3 del mismo, esto es *"proponer y aplicar el control estadístico de procesos como herramienta para mejorar la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje en las aulas universitarias"*.

Para ello, comenzamos contextualizando el estudio en el ámbito de investigación, para a continuación centrarnos en la propuesta de aprendizaje a evaluar, delimitando, objetivos, diseño metodológico, aplicación y resultados obtenidos.

4.1. INTRODUCCIÓN

Las oportunidades que las TIC ofrecen en las aulas universitarias y la posibilidad de impartir parte de la docencia en grupos reducidos de alumnos han propiciado nuevos enfoques del proceso de enseñanza-aprendizaje en el marco del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), que requiere nuevos planteamientos, con nuevos recursos didácticos y actividades para promover el aprendizaje significativo de los alumnos. Así pues, es preciso reconceptualizar el proceso de enseñanza-aprendizaje y desarrollar nuevas metodologías de diseño instruccional que contemplen la integración de las TIC.

El nuevo entorno educativo descrito anteriormente propicia un nuevo enfoque de la actividad de aprendizaje, integrando las TIC en el desarrollo de la misma, no sólo por la posibilidad de utilizar un software específico (hoja de cálculo, software interactivo de respuesta, programas, etc.) para la resolución de una práctica concreta, sino por favorecer el desarrollo de nuevos recursos didácticos instruccionales, que favorezcan el aprendizaje autónomo de los estudiantes y el seguimiento y orientación de su aprendizaje de manera continuada por parte del docente.

En este contexto, el diseño tecnoinstruccional o tecnopedagógico se convierte en un referente, en la medida que la formación se vinculan de forma indisoluble a dos dimensiones (Coll, 2008):

- Dimensión tecnológica. Supone la selección de las herramientas tecnológicas adecuadas al proceso formativo que se desea realizar, analizando sus posibilidades y limitaciones, tales como la plataforma virtual, las aplicaciones de software, los recursos multimedia, etc.
- Dimensión pedagógica. Precisa del conocimiento de las características de los destinatarios, análisis de los objetivos y/o competencias de la formación, desarrollo e implementación de los contenidos, planificación de las actividades, con orientaciones y sugerencias sobre el uso de las herramientas tecnológicas en el desarrollo de las actividades, y la preparación de un plan de evaluación de los procesos y de los resultados.

De esta manera, el diseño tecnoinstruccional o tecnopedagógico, se comporta como una propuesta integrada de elementos tecnológicos y pedagógicos, que incorporan una serie de herramientas informáticas y directrices de cómo utilizarlas

en el desarrollo de actividades de aprendizaje, conocidas en este contexto por e-actividades (Barberá, 2004).

Por ello, el éxito de la integración de componentes tecnológicos y pedagógicos en el proceso de enseñanza-aprendizaje se sustenta en un proceso riguroso de diseño e implantación de e-actividades, acordes con los objetivos de aprendizaje. No basta con la simple integración de las TIC con el método de enseñanza presencial (George-Walker y Keeffe, 2010).

Dentro de un enfoque socioconstructivista, estas actividades pueden ir desde la adquisición comprensiva y significativa de contenidos hasta aquellas que fomenten el aprendizaje colaborativo, la solución de problemas o el análisis de casos. Además, estas actividades no siempre van encaminadas al aprendizaje y aplicación de contenido disciplinar, incluyen también procesos educativos dirigidos a fomentar, por ejemplo, la motivación, el aprendizaje estratégico, la formación en valores, los procesos de socialización del estudiante, entre otras posibilidades no excluyentes. Es decir, pueden ir en un continuo, que va desde aquellas de acción independiente hasta el siguiente extremo, que implica actividades desarrolladas en grupo y colaborativamente (Martínez y Prendes, 2006).

Entre las e-actividades más congruentes con una concepción socioconstructivista, encontramos las que aparecen en la Figura 4.1, donde se ubican en función del tipo de interacción educativa que propician entre los elementos del triángulo interactivo (alumno – contenido - profesor).



Figura 4.1. E-actividades y triángulo interactivo
Fuente: Peralta y Díaz-Barriga (2011, p.241)

Para que los ambientes tecnológicos tengan éxito en la educación es absolutamente necesario garantizar el acceso de los estudiantes a los instrumentos de aprendizaje, así como proveer unas bases pedagógicas y didácticas muy firmes. Por tal motivo, el diseño instruccional no debe dejarse de lado en la producción e implementación de ningún recurso educativo o ambiente virtual de aprendizaje.

Dicho diseño es la carta de navegación, tanto para profesores como para estudiantes, por lo que es necesario seleccionar metodologías que respondan al conjunto de objetivos y que tengan en cuenta los recursos disponibles o proyectados de manera razonable y la preparación de un plan de evaluación de los procesos y de los resultados, garantizando a través del diseño instruccional y de los procedimientos que utiliza, el rigor y la validez de todo el proceso.

Así pues, el diseño educativo o instruccional, es la base para garantizar que la tecnología no se sobreponga al aprendizaje y para reafirmar que en todo proceso educativo el aspecto pedagógico es y será siempre lo fundamental, con incorporación o no de la tecnología (la tecnología es un medio, muy importante, pero no un fin) (Löfström y Nevgi, 2007).

Bajo esta perspectiva, no son pocos los estudios que abordan la importancia de la implementación de las TIC en las estrategias de aprendizaje en las aulas universitarias, y que proporciona una visión clara del potencial, ventajas, desventajas y críticas al uso de las TIC en la docencia. Una muestra de ellos son los realizados por Bates (2000), Kirkwood (2009), Tang y Austin (2009), Wang (2008), Löfström y Nevgi (2007), Selwyn (2007), Stensaker et al. (2007), Ma et al. (2000) y Piccoli et al. (2000).

Solo el uso correcto de la tecnología podrá propiciar interacciones que promuevan la construcción del conocimiento (Peralta y Díaz-Barriga, 2011). En esta línea también se pronuncian autores como Tang y Austin (2009), Wang (2008), Löfström y Nevgi (2007); Stensaker et al. (2007), Pérez I Gracias (2002) y Coll y Martí (2001) que consideran que su uso correcto tiene que ver con un diseño psicopedagógico bien definido, que guíe las interacciones educativas y oriente el análisis de los patrones de comunicación educativa que se llevan a cabo a través de las herramientas tecnológicas.

Los resultados de diversas experiencias de integración de las TIC en el desarrollo del aprendizaje han sido publicados en distintos trabajos, utilizando como principal fuente de información la opinión de los alumnos sobre la utilidad que les atribuye, el modo en el que inciden en la motivación por el aprendizaje y el grado de satisfacción con esa herramienta docente. En el área de Organización de Empresas, los estudios de Gessa et al. (2011), Guitart et al. (2011, 2014), Alfalla-Luque et al. (2011), Ruiz-Jiménez et al. (2010a), Greasley et al. (2004) y Wild y Griggs (2002) recogen los resultados de experiencias en diferentes contextos educativos (diferentes áreas de conocimiento, entornos educativos - virtuales, semipresenciales, combinados-, estrategias docentes, etc.).

Otro campo de estudio, también desde la perspectiva del estudiante, es el impacto de la integración de las TIC en el rendimiento académico, utilizado este como indicador objetivo de la efectividad de la implantación de las TIC en el aprendizaje de los alumnos (Hwang y Arbaugh, 2009; Klein et al., 2006; Webb et al., 2005). Los resultados en estos trabajos difieren según entornos de aprendizaje utilizados, disciplinas impartidas, recursos didácticos, actividades, etc. En algunos detectan diferencias significativas (Arbaugh y Rau, 2007; Arbaugh y Duray, 2002) y en otros no se aprecian (Merrill y Galbraith, 2009; Friday et al., 2006; McLaren, 2004; McCray, 2000).

Así pues, la integración de componentes tecnológicos y pedagógicos en el proceso de enseñanza-aprendizaje, se ha convertido en los últimos años en objeto de discusión, reflexión y debate en entornos educativos, desde diferentes perspectivas.

En línea con los estudios anteriores, nuestro trabajo pretende contribuir al interés y por tanto, al debate que la integración de las TIC en las estrategias docentes ha suscitado (a diferentes niveles y bajo distintas perspectivas) en la comunidad educativa.

Por ello, para alcanzar el objetivo 3 de este trabajo, proponemos evaluar el proceso de integración de las TIC en el desarrollo de las clases de contenido práctico de una asignatura del área de Organización de Empresas, que se imparte en el Grado de Administración y Dirección de Empresas²⁴ (ADE) en la Universidad de Huelva, mediante el uso de una herramienta -guía en soporte digital-, diseñada para tal fin y bajo un enfoque socioconstructivista. Su desarrollo e implantación se ha realizado mediante un proceso diseñado bajo el análisis compartido de los profesores, considerando todos aquellos aspectos que puedan contribuir al desarrollo del proyecto, destacando las oportunidades que las nuevas tecnologías ofrecen para mejorar los procesos formativos.

Nuestro estudio, al igual que los trabajos referenciados antes y que otros trabajos desarrollados en el ámbito de la evaluación de competencias en los estudios universitarios (Surroca et al., 2015; Díaz-Barriga et al., 2013; Makatsoris, 2009; Bikfalvi et al., 2007; Álvarez y Guash, 2006), también se centra en los estudiantes para examinar la eficacia de la implantación de las TIC en el proceso de aprendizaje y como el uso de estas tecnologías contribuyen al aprendizaje de los estudiantes. Para ello, también se utiliza, como principal fuente de información, la opinión de los estudiantes implicados en la propuesta didáctica recogida a través de cuestionarios, reconocidos éstos como el procedimiento más utilizado para evaluar estrategias docentes (Marsh y Roche, 1993; Marsh, 1991; Cohen, 1980).

Pero a diferencia de los otros trabajos, en nuestro estudio, además de evaluar directamente y de forma subjetiva la opinión de los estudiantes, como ya apuntamos en el Capítulo 1, evaluamos también la calidad bajo un enfoque

²⁴Resolución de 3 de marzo de 2011, de la Universidad de Huelva, por la que se publica el plan de estudios de Graduado en Administración y Dirección de Empresas (BOE nº 105, Martes 3 de mayo de 2011).

orientado al proceso. De esta manera, analizamos la variabilidad del proceso de integración de las TIC en las estrategias docentes, mediante la aplicación de técnicas de CEP, para determinar si aquella se debe a causas aleatorias o imputables a dicho proceso (ver Apartado 2.1). En definitiva, comprobar si el proceso de aprendizaje está o no bajo control, que en términos de contraste de hipótesis (ver Apartado 2.2.1) se concreta en determinar si:

H_0 : El proceso de aprendizaje se encuentra bajo control estadístico

H_1 : El proceso de aprendizaje se encuentra fuera de control estadístico

Tras esta introducción, en el apartado siguiente se describe la propuesta didáctica realizada, los datos que se utilizaron y la metodología que se siguió en el trabajo. A continuación, se presentan los resultados y su discusión.

4.2. LA PROPUESTA DE APRENDIZAJE: ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLANTACIÓN

Para el desarrollo de este epígrafe seguimos los pasos a seguir en cualquier proceso en el que se desarrollen herramientas didácticas, sea cual sea su naturaleza. Éste debe comenzar con el análisis e identificación de las necesidades formativas que se desea cubrir, para definir posteriormente, y en función de los objetivos de aprendizaje y recursos disponibles, un estrategia didáctica.

Además, para guiar cada una de las fases del proceso, recuperamos la definición de diseño tecnopedagógico de Coll et al. (2008, p.9), presente en todo el desarrollo de nuestro trabajo:

“Un conjunto de herramientas tecnológicas acompañadas de una propuesta más o menos explícita, global y precisa, según los casos, sobre la forma de utilizarlas para la puesta en marcha y el desarrollo de actividades de enseñanza y aprendizaje. En sus variantes más completas estos diseños incluyen tres grupos de elementos: una propuesta de contenidos, objetivos y actividades de enseñanza aprendizaje, así como orientaciones y sugerencias sobre la manera de abordarlas y desarrollarlas; una oferta de herramientas tecnológicas; y una serie de sugerencias y orientaciones sobre cómo utilizar estas

herramientas en el desarrollo de las actividades de enseñanza aprendizaje propuestas”.

A continuación, se procederá al diseño, desarrollo, implantación y evaluación de los resultados. A ello dedicamos los siguientes epígrafes.

4.2.1. Participantes, objetivo y contexto educativo de la experiencia

Nuestra experiencia docente nos ha permitido constatar que la práctica más generalizada cuando el alumnado se enfrenta a la resolución de un ejercicio es rellenar el espacio disponible para ello (aprendizaje por repetición), sin establecer una secuencia de pasos de manera ordenada y estructurada. Esto dificulta posteriormente la interpretación, tanto para el profesor que lo revisa en la fase de evaluación de resultados (en un examen o en una práctica de clase), como para el propio alumno (en su propio aprendizaje), obstaculizando así el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Por el motivo expuesto, a propuesta y bajo la dirección del coordinador de la asignatura, se diseñó y aplicó un recurso didáctico para la resolución de prácticas de una asignatura con un alto contenido práctico del área de Organización de Empresas (Dirección de Operaciones. Decisiones Tácticas y Operativas). Se trata de integrar las TIC en el desarrollo de las clases prácticas de la asignatura, mediante el uso de guías, diseñadas en soporte digital, para el desarrollo de los contenidos prácticos de la asignatura. Con esta propuesta se pretende favorecer el aprendizaje autónomo, referido prioritariamente al aprendizaje del “cómo hacer correctamente una determinada actividad” (guiar el aprendizaje). Con ello se intenta:

- a) Facilitar al alumnado el estudio y la comprensión de los contenidos teóricos que previamente han sido explicados en el aula, para poder asimilar adecuadamente la materia.
- b) Adquirir otras competencias (transversales y específicas) recogidas explícitamente en los nuevos planes de estudios de los Grados de ADE (ANECA, 2005), donde se imparte la asignatura implicada en el proyecto docente (ver Cuadro 4.1). Destacamos, entre otras, fomentar el hábito de orden y la buena organización de la información, propiciar el uso adecuado de los conceptos y la

terminología específica de la materia, desarrollar habilidades de tecnología de la información y manejo de software específico de cada materia, favorecer la capacidad de análisis y síntesis, así como el estudio de forma continuada a lo largo del curso académico.

COMPETENCIAS TRANSVERSALES/GENÉRICAS

(CT-2) Aplicar los conocimientos teóricos en la práctica

(CT-3) Conocer los medios educativos que la Universidad de Huelva pone a su alcance y saberlos usar de forma adecuada

(CT-4) Desarrollar habilidades de iniciación a la investigación y ser capaz de convertir un problema empírico en un objeto de investigación y elaborar conclusiones

(CT-5) Desarrollar la capacidad de tomar decisiones (evaluando las consecuencias de distintas alternativas de acción y seleccionar las mejores dados los objetivos), adaptarse a nuevas situaciones e identificar y resolver problemas

(CT-7) Desarrollar la capacidad de expresarse de forma correcta, oral y escrita (a), en idioma nativo y potenciar el uso y dominio de una lengua extranjera (b)

(CT-8) Desarrollar la capacidad de organización y planificación

(CT-11) Desarrollar una marcada motivación por la calidad, la innovación y la responsabilidad social corporativa, así como una marcada orientación de servicio al cliente

(CT-16) Conocer y aplicar los instrumentos técnicos, las TIC en los distintos ámbitos económico-empresariales

Cuadro 4.1. Competencias a desarrollar

COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

(CE-14) Conocer el procedimiento operativo de la empresa y saber aplicar los distintos métodos para planificar y tomar decisiones tácticas y operativas en el área de operaciones

Cuadro 4.1. Competencias a desarrollar (continuación)

Fuente: Guía docente de la asignatura

Por otro lado, en el Cuadro 4.2 se resume las características de la asignatura para la que se va a implementar y evaluar la propuesta de aprendizaje.

| Características | |
|--------------------------------|--------------|
| Tipo de asignatura | Obligatoria |
| Nº créditos | 6 ECTS |
| Horas Grupos Teoría (80%) | 48 |
| Horas Grupos Práctica (20%) | 12 |
| Nº de profesores | 4 |
| Periodo | Cuatrimstral |
| Curso | Tercero |
| Nº alumnos matriculados | 259 |
| Grupos de teoría | 3 |
| Grupos de práctica | 8 |

Cuadro 4.2. Principales características de la enseñanza impartida
Fuente: elaboración propia

A continuación, presentamos la estrategia docente, centrándonos en el diseño y aplicación de la misma.

4.2.2. Descripción de la propuesta de aprendizaje: diseño y aplicación

Para el desarrollo de la e-actividad utilizamos la metodología del modelo instruccional propuesto por Müller (2003) (ver Figura 4.2), considerando las recomendaciones expuestas en la introducción del presente capítulo.

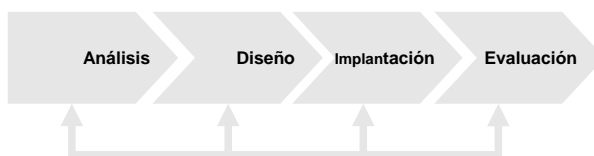


Figura 4.2. Modelo de desarrollo instruccional
Fuente: Müller (2003)

La fase de **análisis** constituye el punto de partida, donde hemos considerado todos aquellos aspectos contextuales vinculados a la docencia de la asignatura, que nos ha llevado durante largos periodos de tiempo a reflexionar sobre la idoneidad de las estrategias docentes utilizadas. Es primordial el análisis pormenorizado del programa de la asignatura, identificando aquellos temas con contenido práctico, para los cuales va destinado fundamentalmente el recurso didáctico diseñado a tal efecto (guías tutorizadas). Asimismo, es imprescindible la planificación y programación de la asignatura, comprobando que la simultaneidad

de los contenidos teóricos y prácticos es posible. De la misma manera, es necesario verificar la disponibilidad de los recursos necesarios (aulas, recursos informáticos, tiempo, etc.) para el desarrollo de la experiencia.

Todo ello se ha tratado en las sucesivas reuniones que hemos mantenido los docentes que imparten la asignatura, bajo la dirección y coordinación del responsable de la asignatura, donde se ha abordado además, el reparto de tareas a desarrollar por cada uno de los participantes y se decidió el número de guías a elaborar, dependiendo de los diferentes tipos de problemas que tiene cada tema del programa docente de la asignatura.

Finalizada la primera fase, pasamos a realizar el **diseño** del recurso didáctico seleccionado (guías tutorizadas), teniendo en cuenta aspectos, tales como: el formato en el que se va a diseñar (accesible, fácil de manejar), la estructura, el contenido teórico necesario a incorporar en cada una de las guías, el software a utilizar para ejercicios de determinados temas del programa docente de la asignatura, etc. Tal y como recogen Guitart et al. (2011), los ejercicios tutorizados son entendidos como unos sistemas instructivos de autoaprendizaje que muestran al estudiante cómo resolver correctamente una determinada actividad de cierta complejidad (mediante la adopción de un método paso a paso).

Para el **desarrollo e implementación** del recurso diseñamos un protocolo, en el que se recoge los diferentes pasos a seguir:

- 1) Dar a conocer a los estudiantes el nuevo recurso didáctico y su aplicabilidad para el desarrollo de las prácticas de laboratorio, cuyo seguimiento está detallado en el programa docente de la asignatura.
- 2) Publicación de las guías tutorizadas en el campus virtual (Plataforma Moodle), en la medida que se vayan explicando los contenidos teóricos y desarrollando las correspondientes prácticas de laboratorio.
- 3) Utilización de las mismas para la resolución de los ejercicios propuestos en las prácticas de laboratorio.
- 4) Revisión por los docentes de las prácticas realizadas por los estudiantes para su evaluación.

Para el desarrollo de las sesiones prácticas, inicialmente, procedimos a la distribución del alumnado matriculado en grupos reducidos (< 30 alumnos),

debiendo todos, una vez por semana, asistir al grupo asignado en las aulas de informática del centro que se utilizan para la docencia. Una vez en el aula, el alumnado accederá a la guía disponible en la plataforma virtual existente de la asignatura para realizar y seguir la dinámica de trabajo propuesta en la clase práctica. El contenido de las guías por unidades temáticas es el siguiente:

- a) Una breve reseña teórica que garantice la vinculación con la clase teórica previamente impartida en sesiones anteriores.
- b) Contenido práctico con diferentes casos a resolver por el alumnado durante un periodo de tiempo previamente definido por el profesorado.
- c) Parte explicativa del software, en su caso, que debe utilizarse para la resolución de los casos requeridos y al que se le facilitará el acceso.

De este modo, una vez expuesto el repaso teórico, detallado el manejo del software adecuado y marcadas las pautas para la resolución de los casos prácticos por parte del docente, el alumnado dispone de un tiempo para resolverlos, en el cual puede consultar la materia teórica de la asignatura, intercambiar opiniones con sus compañeros y/o recurrir al profesorado que, durante dicho periodo, resolverá dudas individualizadas y evaluará el trabajo realizado por los mismos. Finalizado dicho tiempo, el profesorado procede a mostrar el contenido completo (con la solución) de cada caso práctico, apoyando la explicación verbal y visual a través del uso de la guía tutorizada. Al mismo tiempo, se hace partícipe al alumnado en dicha resolución solicitando sus resultados y comparándolos con los que la guía ofrece, originándose debate en caso de discrepancia y, por tanto, aumentando la capacidad reflexiva y de aprendizaje de los mismos por propia comparativa entre lo que han desarrollado y cómo lo han desarrollado y la solución final ofrecida en la guía. A final de semana, el alumnado dispondrá en la plataforma de la guía completa, con la solución de los casos, proporcionándole, de este modo, una herramienta más de estudio que facilite la comprensión de los contenidos prácticos y teóricos de la asignatura. Mediante este método, se consigue basar la sesión en el trabajo colaborativo del alumnado, fomentando el intercambio de información, horizontal y vertical, y propiciando que los estudiantes adquieran un papel activo en su proceso de aprendizaje facilitando, además, la comprensión de conceptos, procedimientos y herramientas de mayor complejidad que favorezcan la capacidad de análisis y síntesis en la búsqueda de soluciones a los problemas que se plantean.

En la Figura 4.3, a título ilustrativo, se muestra parte de una guía tutorizada para la resolución de prácticas de planificación de materiales (Material Requirements Planning, MRP). En la misma, pueden observar el esquema teórico, y algunos de los pasos necesarios para resolver el caso que previamente se habrá expuesto en la misma (con y sin la utilización del software especificado).

A. Determinación de los Pedidos Planificados para A

1.- Determinación de las Necesidades Brutas a partir de los lanzamientos de pedidos planificados de los ítems de nivel superior.

Del componente A son necesarias 3 unidades por cada unidad del producto X, único producto que elabora la empresa, por lo que:
 $NB_i(A) = 3 \times LPPL_i(X)$:

| Meses | | Enero | | | | Febrero | | | |
|------------------------------------|--|-------|-----|---|-----|---------|-----|-----|---|
| SEMANAS | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Lanz. ped. planificados Producto X | | 0 | 150 | 0 | 100 | 50 | 100 | 200 | 0 |

3 x ■

| Item | Nivel | SS | Conceptos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
|------|-------|----|------------------------|---|-----|---|-----|-----|-----|-----|---|--|
| A | 1 | 50 | Necesidades Brutas | 0 | 450 | 0 | 300 | 150 | 300 | 600 | 0 | |
| | | | Disponibilidades | | | | | | | | | |
| | | | Recep. Programadas | | | | | | | | | |
| | | | Necesidades Netas | | | | | | | | | |
| | | | Recepción Ped. Planif. | | | | | | | | | |
| | | | Lanzamiento Ped. Pla. | | | | | | | | | |

A. Determinación de los Pedidos Planificados para A

2.- Completar la información con los datos del registro de inventarios facilitados en la Tabla 1

| Item | SS | Dimen.del Lote | Ts | C. Posesión | Ce | Aprovech |
|------|----|--------------------------|----|-------------|----|----------|
| A | 50 | EOQ = 400 lote a obtener | 2 | ? | ? | 0.93 |

| Item | Nivel | SS | Conceptos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
|------|-------|----|------------------------|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|---|--|
| A | 1 | 50 | Necesidades Brutas | 0 | 450 | 0 | 300 | 150 | 300 | 600 | 0 | |
| | | | Disponibilidades | 300 | | | | | | | | |
| | | | Recep. Programadas | | 400 | | | | | | | |
| | | | Necesidades Netas | | | | | | | | | |
| | | | Recepción Ped. Planif. | | | | | | | | | |
| | | | Lanzamiento Ped. Pla. | | | | | | | | | |

| Item | Recepciones Programadas | Disponi-ble in. | NN por período | Lanzamiento de P. Planif. |
|------|-------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|
| A | 400 en 2 | 300 | ? | ? |

Figura 4.3.a. Extracto de una parte de una guía tutorizada
 Fuente: elaboración propia

A. Determinación de los Pedidos Planificados para A

3.- Cálculo de las Necesidades Netas y Disponibilidades de cada período

NNi = NBi - RPi - (Di - SS)
 Necesidades Netas (NNi) = Necesidades Brutas (NBi) - Recepciones Programadas (RPi) - [Disponibilidades (Di) - Stock de Seguridad (SSi)]

Si las NNi calculadas son ≥ 0 , las NNi se harán igual a las NN calculadas
 Si las NNi calculadas son < 0 , las NNi se harán igual a cero
 En todo caso, las disponibilidades del período siguiente: $Di+1 = Di + RPi - NBi + NNi$

| Item | Nivel | SS | Conceptos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
|------|-------|----|------------------------|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|---|---|
| A | 1 | 50 | Necesidades Brutas | 0 | 450 | 0 | 300 | 150 | 300 | 600 | 0 | |
| | | | Disponibilidades | 300 | 300 | | | | | | | |
| | | | Recep. Programadas | 0 | 400 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Necesidades Netas | 0 | | | | | | | | |
| | | | Recepción Ped. Planif. | | | | | | | | | |
| | | | Lanzamiento Ped. Pla. | | | | | | | | | |

NN1 = NB1 - RP1 - (D1 - SS) = 0 - 0 - (300 - 50) = - 250

NN1 calculadas < 0 , por lo que:

- **NN1 = 0**

- **D2 = D1 + RP1 - NB1 + NN1 = 300 + 0 - 0 + 0 = 300**

A. Determinación de los Pedidos Planificados para A

3.- Cálculo de las Necesidades Netas y Disponibilidades de cada período

NNi = NBi - RPi - (Di - SS)
 Si las NNi calculadas son ≥ 0 , las NNi se harán igual a las NN calculadas
 Si las NNi calculadas son < 0 , las NNi se harán igual a cero
 $Di+1 = Di + RPi - NBi + NNi$

| Item | Nivel | SS | Conceptos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
|------|-------|----|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|
| A | 1 | 50 | Necesidades Brutas | 0 | 450 | 0 | 300 | 150 | 300 | 600 | 0 | |
| | | | Disponibilidades | 300 | 300 | 250 | | | | | | |
| | | | Recep. Programadas | 0 | 400 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Necesidades Netas | 0 | 0 | | | | | | | |
| | | | Recepción Ped. Planif. | | | | | | | | | |
| | | | Lanzamiento Ped. Pla. | | | | | | | | | |

NN2 = NB2 - RP2 - (D2 - SS) = 450 - 400 - (300 - 50) = -200

NN2 calculadas < 0 , por lo que:

- **NN2 = 0**

- **D3 = D2 + RP2 - NB2 + NN2 = 300 + 400 - 450 + 0 = 250**

Figura 4.3.b. Extracto de una parte de una guía tutorizada (continuación)

Fuente: elaboración propia

Por último y de cara a cumplir los objetivos que fijamos al principio, procedimos a la **evaluación** del uso de las guías tutorizadas para el desarrollo de las prácticas de Dirección de Operaciones, tanto por parte del profesor, como por los propios alumnos que supuestamente se han beneficiado de la experiencia desarrollada. Evaluación que se realiza de manera procesual y continuada, en cada una de las fases anteriores, no limitándose exclusivamente al fin del proceso.

4.3. EVALUACIÓN DE LA ESTRATEGIA DOCENTE

Para la consecución de los subobjetivos 3.3 y 3.4 de nuestra investigación, que nos permita alcanzar el propósito general de la misma, en este apartado del trabajo nos centramos en todos aquellos aspectos que nos permitan realizar, bajo un enfoque orientado al proceso (mejora continua de la calidad) la evaluación de la estrategia docente diseñada bajo el enfoque socioconstructivista.

4.3.1. Diseño de la investigación y recopilación de datos

Llegados a este punto, una vez diseñado el recurso didáctico, desarrollado e implantado para la consecución de los objetivos fijados en este trabajo, el siguiente paso a realizar en nuestra investigación es obtener la información necesaria para evaluar el proceso de integración del mismo en el desarrollo de las clases prácticas de la asignatura del área de Organización de Empresas.

El proceso que hemos seguido para la recogida de datos consta de las siguientes fases (ver Figura 4.4): la selección de la técnica de recolección de datos, el diseño y desarrollo de la técnica seleccionada y la recogida de datos.

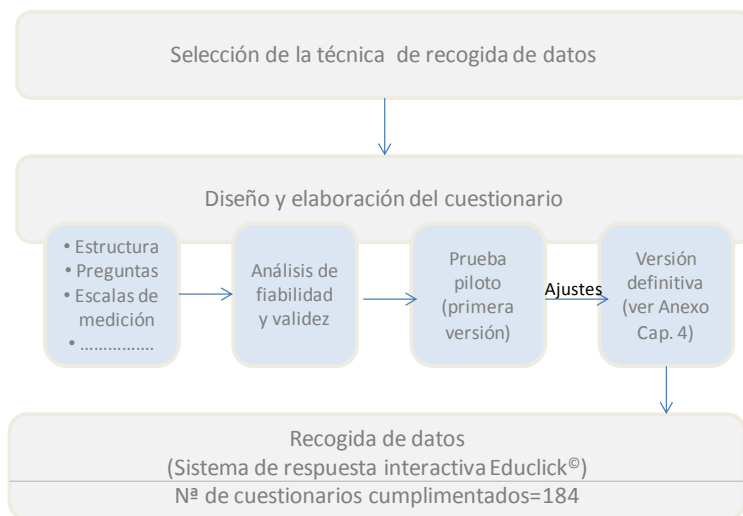


Figura 4.4. Proceso de recogida de datos

Fuente: elaboración propia

Por las características propias de las organizaciones educativas y en línea con los trabajos realizados previamente en el ámbito de estudio (ver Apartado 1.1) consideramos que el cuestionario, como técnica de recopilación de datos, nos permitía alcanzar los objetivos planteados para nuestra investigación, puesto que nos facilita los datos necesarios para la cuantificación y la medición del grado de consecución de los mismos.

Seleccionada la técnica para la recolección de datos, la siguiente tarea es el diseño del cuestionario, considerando aspectos tales como la estructura, preguntas, escalas de medición, etc. Para ello se ha tenido en cuenta las recomendaciones de los expertos en este campo de estudio (Hernández et al., 2003; Martínez, 2002).

El cuestionario²⁵ se estructura en tres bloques (ver Anexo del Capítulo 4). El primero consta de cinco preguntas identificativas y descriptivas del perfil del estudiante, relativas a su sexo, edad, grupo de clase, etc. A continuación, los

²⁵ El cuestionario utilizado es una adaptación del propuesto por Guitart et al. (2011), basado en las directrices de Tuning Educational Structures in Europe II (2005) sobre las competencias genéricas y la metodología propuesta por Rodríguez (2008) para la autoevaluación de las competencias.

estudiantes tuvieron que responder a cinco ítems tipo Likert (valoraron su grado de conformidad o disconformidad con 5 afirmaciones mediante una escala de 1 a 5) sobre la utilidad del recurso didáctico utilizado en los grupos de prácticas de la asignatura. Y en el tercer bloque del cuestionario, se presenta un total de 13 ítems tipo Likert (escala 1 a 5) para que los estudiantes valoren, según su experiencia personal, en qué medida el uso de las presentaciones guiadas en el desarrollo de las clases prácticas les ha ayudado a mejorar y/o adquirir cada una de las siguientes competencias²⁶: autonomía y responsabilidad, capacidad de aprendizaje, estudio de forma continuada, habilidad de comunicación, capacidad de análisis y síntesis, TIC, capacidad crítica y evaluación y capacidad para detectar problemas.

Y finalmente, se proporciona en el cuestionario un apartado de formato abierto, para que los estudiantes expresen aquellos comentarios, observaciones o sugerencias que consideren conveniente.

Una vez seleccionado y diseñado el cuestionario había que evaluar su utilidad, es decir, su fiabilidad y validez.

Para determinar la fiabilidad de la escala de medición utilizada en el cuestionario, teniendo en cuenta la estructura y los tipos de ítems, para evaluar las diferentes competencias (bloque tercero del cuestionario), hemos optado por utilizar el alfa de Cronbach. Este toma un valor de 0,74552²⁷, lo que pone de manifiesto que se trata de un instrumento de medida aceptable. De esta manera, no fue necesario eliminar ningún ítem de esa parte del cuestionario.

Por otro lado, el proceso de revisión bibliográfica realizado (ver Capítulo 3) y los trabajos revisados en este mismo campo de estudio y tomados como referencia en nuestro trabajo, nos han permitido, en la medida de lo posible, garantizar la validez del contenido de la investigación.

Tras pasar las anteriores pruebas de fiabilidad y validez, la primera versión del cuestionario se sometió a diferentes pruebas para detectar posibles defectos en la redacción y disposición de los ítems, que pudieran distorsionar el verdadero

²⁶ Las competencias estaban definidas en el cuestionario para facilitar la comprensión de los alumnos.

²⁷ Parece existir cierto consenso sobre el hecho de que un valor alfa de Cronbach superior al 0,7 indica que la fiabilidad de la escala es aceptable en estudios de carácter exploratorio (Nunnally, 1978).

sentido de las preguntas, y pudieran, por tanto, influir negativamente en la fiabilidad y validez del instrumento de medición (Rojas et al., 1998).

Tras realizar algunas pequeñas correcciones de redacción de los ítems y considerar las recomendaciones realizadas por un equipo multidisciplinar de profesores respecto a diferentes cuestiones relativas al diseño del cuestionario, la versión definitiva del cuestionario utilizado en nuestro estudio es la que se presenta en el Anexo del Capítulo 4.

La modalidad de cuestionario elegida para recopilar los datos de la muestra seleccionada, fue un sistema de respuesta interactiva a través de dispositivos individuales (mandos de respuesta) (Educlick). A diferencia, de otras posibles opciones para cumplimentar los cuestionarios (manualmente, vía e-mail, etc.), este sistema informatizado nos permite obtener la información de manera inmediata y mostrar resultados rápidamente (Ruíz-Jiménez et al., 2010a; Chafer, 2009; Judson, 2002), así como asegurar un mayor índice de respuesta (en nuestro caso, el 100% de los alumnos que asisten a cada grupo de clase).

En el periodo de recogida de datos (un curso académico), el cuestionario se pasó a todos los alumnos que asisten regularmente a clases prácticas en grupos pequeños de la asignatura, y que por consiguiente han utilizado el recurso didáctico elaborado.

Un total de 184 alumnos participaron en el proyecto, cumplimentando el cuestionario. Son los estudiantes que habitualmente asisten a alguno de los ocho grupos de laboratorio organizados para el desarrollo de las prácticas de la asignatura. La Tabla 4.1, recoge la distribución por grupos de los alumnos que asistieron a las clases de prácticas.

| Grupos de prácticas | Nº alumnos | Grupos de prácticas | Nº alumnos |
|----------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| 1 | 28 | 5 | 10 |
| 2 | 27 | 6 | 23 |
| 3 | 19 | 7 | 30 |
| 4 | 25 | 8 | 22 |

Tabla 4.1. Distribución de alumnos por grupos de prácticas
Fuente: elaboración propia

4.3.2. Tratamiento y análisis de los datos

Para garantizar la validez y la fiabilidad del trabajo de investigación, y así facilitar el tratamiento y el análisis de la información recopilada a través de los cuestionarios, se procedió al registro organizado y posterior clasificación y codificación de los datos, recurriendo a tablas, cuadros, etc., creados en diferentes formatos de archivos, para facilitar su posterior tratamiento estadístico en los paquetes informáticos utilizados en nuestro proyecto (Excel™ 2010 y Minitab™ 17).

Para el análisis de los datos seguiremos el esquema propuesto para el desarrollo de la parte empírica de la investigación realizada, que nos permita concretamente la consecución de los objetivos 3.3, 3.4 y 3.5 del estudio.

Para valorar, de manera general, la propuesta de aprendizaje diseñada e implantada (subobjetivo 3.3), comenzamos realizando un estudio descriptivo de las diferentes variables del cuestionario utilizado para la recogida de información. Por el tipo de estudio desarrollado y por las características de las variables del estudio (principalmente cualitativas), el análisis se centra, principalmente en los principales descriptivos estadísticos y en el análisis de frecuencias a través de tablas cruzadas.

Por otro lado, para aplicar y valorar la aplicación del CEP en la estrategia docente propuesta (subobjetivo 3.4), hemos seguido el proceso lógico de cualquier aplicación de los gráficos de control de calidad, presentado en el Capítulo 2 en el diagrama de la Figura 2.2, considerando todos aquellos aspectos relevantes para su desarrollo.

Por otra parte, para realizar un estudio comparativo de los resultados, dependiendo del gráfico de control utilizado (subobjetivo 3.5), en cada caso, se ha procedido al tratamiento de los datos de diferente manera (muestras, variables de calidad, etc.). Para una mejor comprensión del proceso y de los resultados obtenidos, hemos considerado conveniente tratarlos y exponerlos conjuntamente con los resultados obtenidos, que se presentan en el apartado siguiente.

4.4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Para la presentación de los resultados, seguiremos el mismo esquema que hemos utilizado para el análisis de los datos. En primer lugar presentamos los correspondientes al análisis descriptivo y a continuación los derivados de la aplicación de las técnicas de CEP.

4.4.1. Análisis descriptivo

En este apartado presentamos los resultados que entendemos que nos ha permitido alcanzar el subobjetivo 3.3, que recordemos que no era otro que *“valorar, de manera general, la propuesta de aprendizaje diseñada e implantada”*.

Para ello, en un primer apartado, presentamos los datos que nos permitan contextualizar el desarrollo de las clases prácticas en grupos reducidos (donde se han utilizado las guías didácticas) y el perfil del alumno de la muestra estudiada. A continuación, se recoge la valoración, por parte de los estudiantes, de la utilización de los ejercicios tutorizados para el estudio y aplicación de los contenidos prácticos de la asignatura.

4.4.1.1. Perfil de los alumnos

Los datos correspondientes a este apartado se han extraídos de los ítems correspondientes al Bloque I del cuestionario, que se corresponde con los datos identificativos de los estudiantes.

Como ya señalamos antes, el número de alumnos que cumplimentaron el cuestionario fue de 184, que constituye la muestra inicial de nuestra investigación. Aquellos son los que habitualmente asisten a los grupos de prácticas y representa el 71,04% de los alumnos matriculados en el curso académico objeto de nuestro estudio.

La distribución de la muestra por sexo y edad se recoge en el Gráfico 4.1. Aproximadamente el 85% de los estudiantes tiene entre 20 y 25 años de edad, siendo el sexo femenino el que predomina en la muestra (61,96% del total de la muestra).

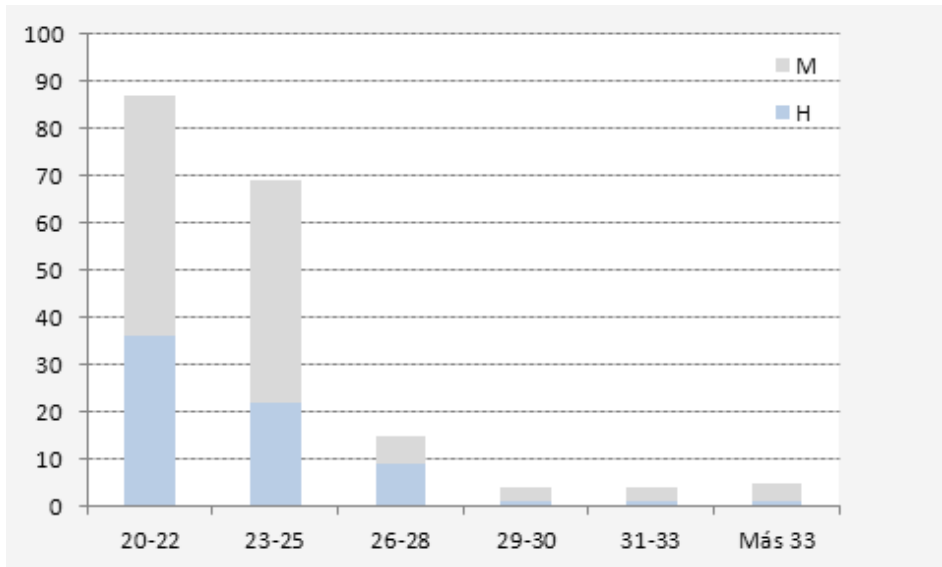
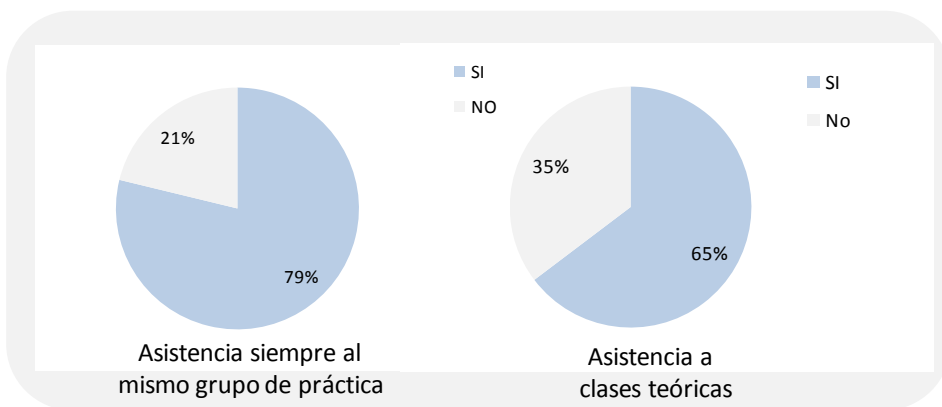


Gráfico 4.1. Distribución de la muestra por sexo y edad (nº de alumnos)
Fuente: elaboración propia

Debido al carácter obligatorio de las prácticas, hemos considerado conveniente analizar algunas cuestiones relativas a la asistencia, tanto a los grupos reducidos de laboratorio, como a los grupos de teoría. Los resultados se muestran en el Cuadro 4.3.



Cuadro 4.3. Distribución de los estudiantes en función de la asistencia a clases (teóricas y prácticas) (% de alumnos)
Fuente: elaboración propia

Por grupos de alumnos, en el Gráfico 4.2 se muestra el nivel de asistencia a las clases teóricas de la asignatura en el curso académico analizado.

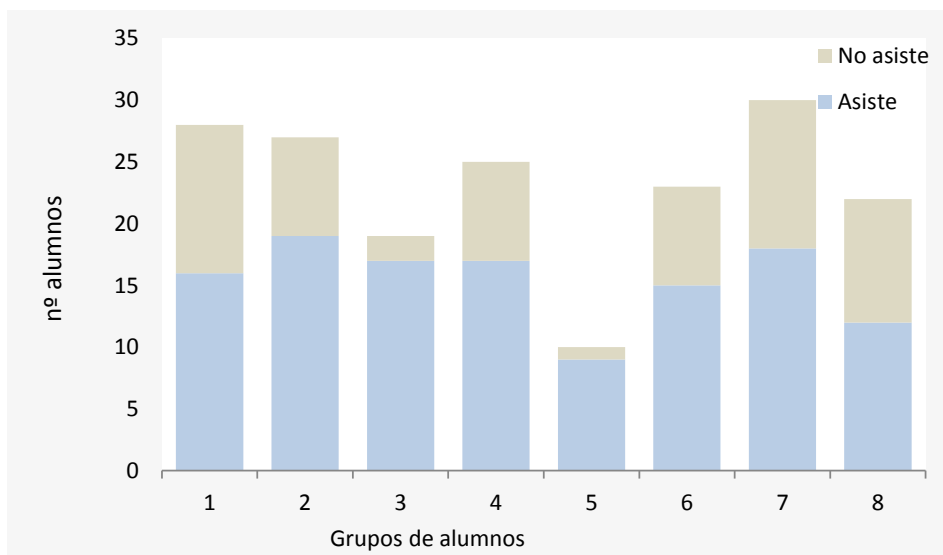


Gráfico 4.2. Distribución de los estudiantes por grupos de clases y asistencia a clases teóricas

Fuente: elaboración propia

Los grupos 3, 4 y 5 de clases prácticas tienen un nivel de asistencia a las clases a grupos de teoría superior a la media del total de los grupos (67,49%).

Por otro lado, el Gráfico 4.3 muestra la distribución de frecuencia del número de alumnos, en función de las veces que han realizado las prácticas, debido a que la calificación (apto/no apto) obtenida en las prácticas realizadas en horario de clases en grupo pequeños es válida para un solo curso académico (incluido las convocatorias extraordinarias de noviembre y diciembre del curso siguiente).

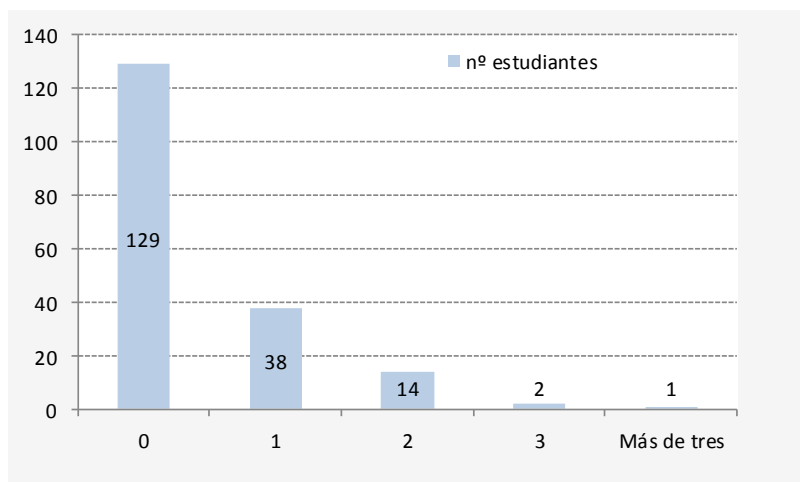


Gráfico 4.3. Distribución de la muestra en función del número de veces que han realizado las prácticas
Fuente: elaboración propia

Aproximadamente el 70% de los alumnos que han realizado las prácticas en el curso académico las han hecho por primera vez, por lo que el porcentaje de estudiantes que repiten es del 30%. En este último grupo, la mayor proporción corresponde a aquellos que repiten las prácticas por segunda o tercera vez (20,65% y 7,6% del total, respectivamente).

Por grupos de alumnos, a excepción del grupo 8, en todos los demás, el porcentaje de alumnos que realizan la práctica por primera vez es superior al 50% de los alumnos del grupo, y superior a la media del total de la muestra del estudio (69,79%) (ver Gráfico 4.4).

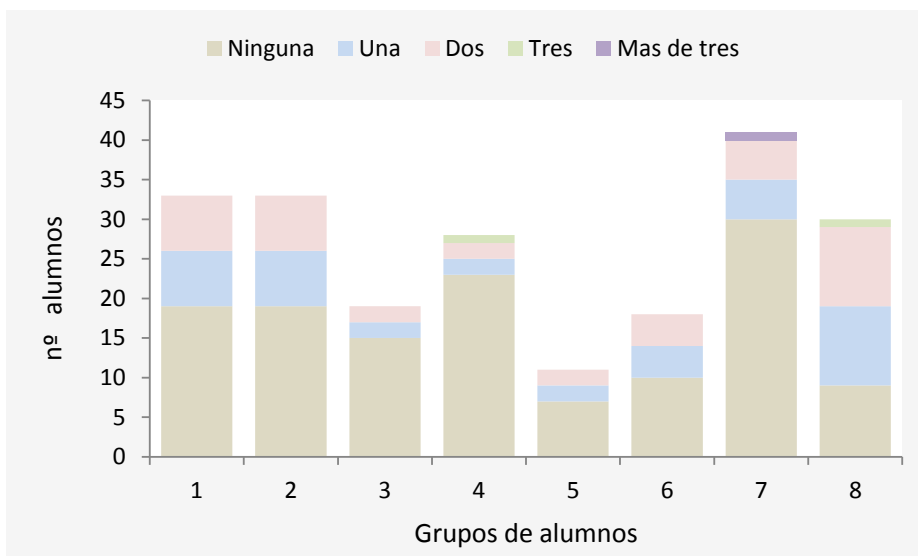


Gráfico 4.4. Distribución de los estudiantes por grupos de clases y número de veces que ha realizado las prácticas
Fuente: elaboración propia

Por último, cabe destacar, que a excepción de un grupo (grupo 6), los alumnos habitualmente asisten al mismo grupo de prácticas (Gráfico 4.5).

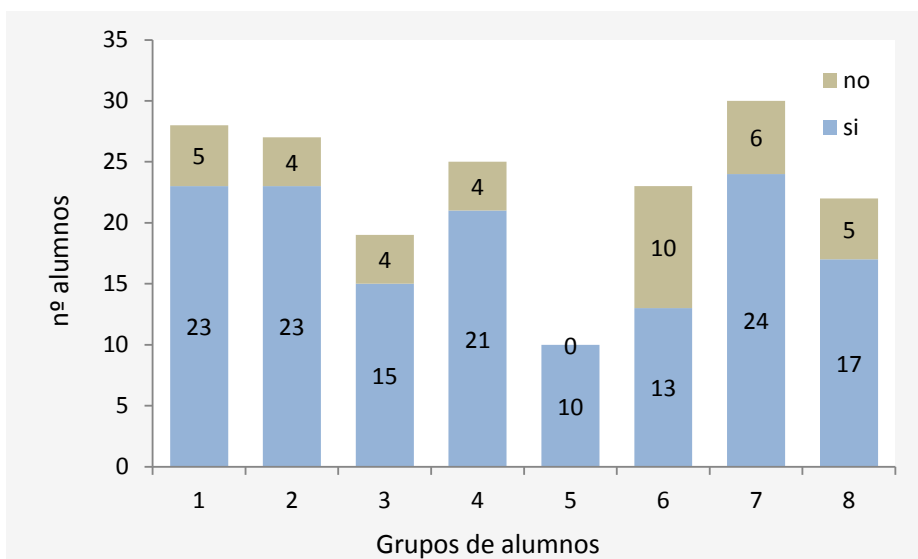


Gráfico 4.5. Distribución de los estudiantes por grupos de clases y grupo que habitualmente asiste
Fuente: elaboración propia

4.4.1.2. Valoración general de las presentaciones guiadas

Una vez presentados los resultados que nos han permitido contextualizar el desarrollo de las clases en grupos reducidos de prácticas, a continuación, exponemos la valoración de los estudiantes del uso del recurso diseñado para el desarrollo de los contenidos prácticos, que corresponde con los ítems del Bloque II del cuestionario.

La buena acogida de las presentaciones guiadas en soporte digital, diseñadas para el desarrollo de los contenidos prácticos de Dirección de Operaciones, por los estudiantes, muestra la idoneidad y adecuación del recurso didáctico empleado. Así lo refleja el Gráfico 4.6

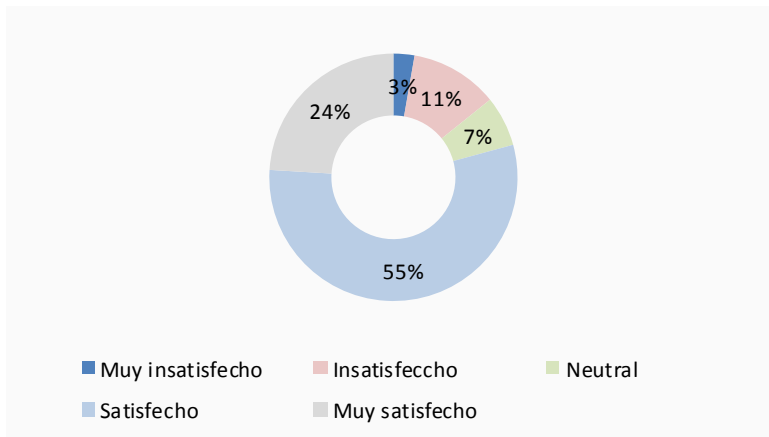
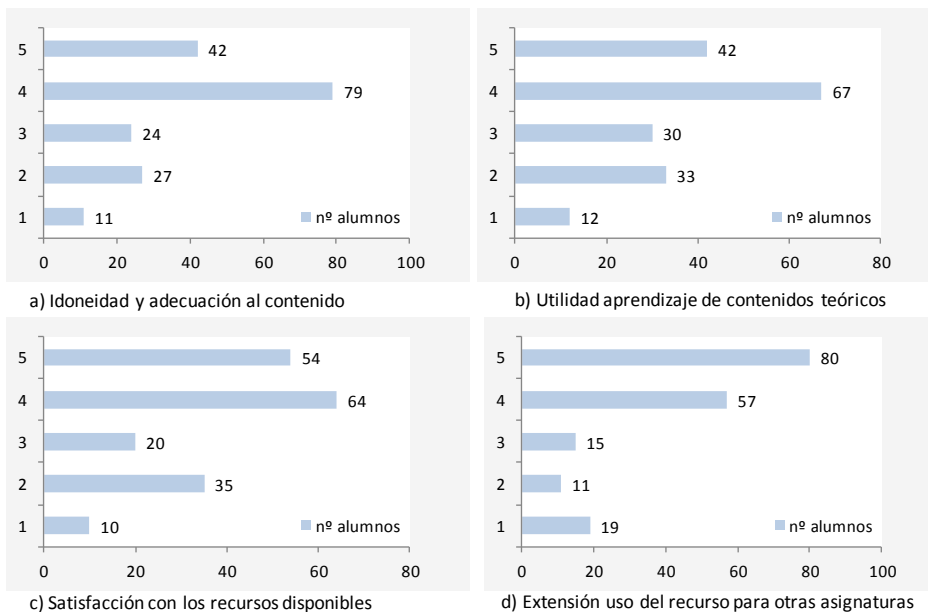


Gráfico 4.6. Nivel de satisfacción de los alumnos con el recurso didáctico (% de alumnos)
Fuente: elaboración propia

Asimismo, el Cuadro 4.4 recoge la valoración que hacen los alumnos de la propuesta de aprendizaje, objeto de estudio, en cuanto a la idoneidad de la misma para el aprendizaje de los contenidos teóricos (impartidos en grupos de mayor tamaño), a la disponibilidad de recursos (equipos informáticos, plataforma Moodle, otro mobiliario del aula, etc.), y por último, respecto a la conveniencia o no de hacer extensivo el uso de este tipo de recursos para otras asignaturas de la titulación.



1 totalmente en desacuerdo, 2 desacuerdo, 3 neutral, 4 de acuerdo, 5 totalmente de acuerdo

Cuadro 4.4. Valoración de las presentaciones guiadas por los alumnos

Fuente: elaboración propia

Aproximadamente el 60% de los encuestados reconocen la idoneidad y utilidad del recurso para el aprendizaje de los conocimientos teóricos de la materia impartida. Un 64,48% de los mismos están satisfechos con los recursos disponibles para un buen desarrollo de las clases en grupos reducidos. Y por último, consecuencia de lo anterior, y como era de esperar, el 75,28% de los alumnos creen conveniente extender este tipo de práctica docente a otras asignaturas de la titulación.

En relación a la valoración de las competencias recogidas en el Bloque II del cuestionario, los resultados del análisis descriptivo presentados en la Tabla 4.2 ponen de manifiesto que las puntuaciones más altas en la valoración de las competencias y habilidades por parte de los alumnos, valoradas de forma independiente, corresponden a la capacidad de trabajar de manera continuada, autónoma y responsable, que a su vez favorecen el desarrollo de otras

competencias también valoradas positivamente (capacidad de análisis y síntesis y de detectar y resolver problemas).

| Competencias y habilidades | Media | Desv. Típica |
|-----------------------------------|--------------|---------------------|
| Autonomía y responsabilidad | 4,087 | 0,74 |
| Estudio de manera continuada | 3,67 | 1,13 |
| Capacidad para detectar problemas | 3,64 | 1,18 |
| Capacidad de análisis y síntesis | 3,61 | 1,01 |
| Capacidad de crítica y evaluación | 3,45 | 0,97 |

Tabla 4.2. Valoración de las competencias y habilidades de los estudiantes

Fuente: elaboración propia

4.4.2. Aplicación del CEP

En este apartado, con el fin de dar cumplimiento a los subobjetivos 3.4 y 3.5 de este trabajo (*aplicar y valorar la aplicación del CEP en la estrategia docente propuesta*), presentamos los resultados de la aplicación del CEP, siguiendo las fases del proceso descrito en el diagrama de la Figura 2.2.

Para determinar si el proceso de aprendizaje, derivado de la aplicación del recurso didáctico elaborado y utilizado para el desarrollo de las clases prácticas de la asignatura, está o no bajo control estadístico, hemos aplicado diferentes gráficos de control, dependiendo del tipo y número de características de la calidad a controlar (variable o atributo), y, como no podía ser de otra manera, en línea con los objetivos de nuestra investigación.

Los datos utilizados en esta parte del trabajo se extraen de los Bloques II y III del cuestionario (ver Anexo del Capítulo 4).

En primer lugar, aplicamos los gráficos de control de variables para el total de las observaciones (165) del estudio y a continuación, realizamos el control de atributos por muestras variables e integradas por los alumnos que asisten a cada uno de los ocho grupos organizados para impartir los contenidos prácticos de la asignatura.

4.4.2.1 Aplicación de los gráficos de control de variables

En primer lugar, para evaluar si el proceso de implantación de guías para la adquisición y desarrollo de las competencias se encuentra bajo control estadístico (es decir, la variación del proceso de integración de las TIC en el aprendizaje de los alumnos es debida a causas aleatorias), hemos seleccionado el gráfico de control multivariado T^2 de Hotelling, que nos permite verificar, para el total de observaciones (165), el siguiente contraste de hipótesis:

- H_0 : El proceso de aprendizaje está bajo control estadístico.
- H_1 : El proceso de aprendizaje está fuera de control estadístico.

La selección de este gráfico, entre las posibles opciones existentes para el caso de que haya que controlar dos o más características de la calidad relacionadas en el proceso (ver Apartado 2.3.1.2), se fundamenta en su sencillez y la capacidad de fijar los límites de control mediante procedimientos probabilísticos, permitiendo detectar pequeños cambios en los procesos (a diferencia de los gráficos tradicionales). No obstante, para su aplicación, como en el resto de los gráficos de control, es necesario preparar los datos obtenidos directamente de los cuestionarios cumplimentados por los estudiantes.

4.4.2.1.1. Obtención y preparación de los datos

Los datos utilizados para la aplicación de este gráfico de variables se han obtenido del Bloque III de los cuestionarios cumplimentados por los alumnos que han participado en el proyecto, relativos a la valoración del uso de las presentaciones guiadas para mejorar y/o adquirir las diferentes competencias y habilidades. Aunque este bloque incluye un total de 13 ítems, nos hemos centrado en los aspectos contemplados en los ítems 14-21, al considerar que los demás no son necesarios, por incluirse como preguntas de control en el cuestionario, y por tanto, puedan duplicar la información y distorsionar los resultados.

Para facilitar el tratamiento e interpretación de los datos, hemos asignado un código a cada una de las competencias consideradas en el cuestionario (ver

Cuadro 4.5), que son las características que definen la calidad del proceso, y que por tanto, son las variables a controlar mediante la aplicación del CEP en nuestro estudio.

| Competencias y habilidades | Código |
|-----------------------------------|---------------|
| Autonomía y responsabilidad | C14 |
| Capacidad de aprendizaje | C15 |
| Estudio de forma continuada | C16 |
| Habilidad de comunicación | C17 |
| Capacidad de análisis y síntesis | C18 |
| Tecnologías de la información | C19 |
| Capacidad de crítica y evaluación | C20 |
| Capacidad para detectar problemas | C21 |

Cuadro 4.5. Codificación de los ítems de competencias y habilidades
Fuente: elaboración propia

Bajo las consideraciones anteriores, y tras eliminar los registros incompletos de la muestra (pueden dar lugar a errores en la estimaciones de los parámetros de los gráficos de control), el total de observaciones consideradas para el estudio es de 165 (89,67% de las observaciones iniciales).

Asimismo, para poder utilizar y tratar los datos, ha sido necesario realizar la transformación matemática de los datos originales (en formato escala Likert 1 a 5) correspondientes a los diferentes ítems de las competencias a valorar, para poder ser tratadas como variables continuas. Para ello, aplicamos el método Probit Ordinary Least Squares, (POLS), propuesto por Van Praag y Ferrer-i-Carbonell (2004). Este método consiste en un re-escalamiento de las variables originales, mediante la derivación de los valores de Z , de una distribución normal que corresponda a las frecuencias acumuladas de las categorías originales. Las nuevas variables transformadas son, por tanto, la esperanza matemática de una cierta variable, Z , que sigue una distribución normal estándar, cuando toma valores en un determinado intervalo abierto. En concreto, la transformación matemática para obtener las nuevas variables es:

$$y_c = E Z | \mu_1 < Z < \mu_2 = \phi \mu_1 - \phi \mu_2 / \Phi \mu_2 - \Phi \mu_1 \quad \forall x \quad 4.1$$

donde Z es la citada variable aleatoria estándar $Z \sim (0,1)$, ϕ es la función de densidad de probabilidad para una distribución normal, y Φ es la función de densidad acumulada. En la Tabla 4.3 se presentan los valores estandarizados continuos equivalentes para las escala Likert utilizada en nuestro estudio.

| Escala Likert | Competencias ¹ | | | | | | | |
|---------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | C14 | C15 | C16 | C17 | C18 | C19 | C20 | C21 |
| 1 | 1,8345 | 1,7099 | 1,8499 | 1,6609 | 1,7846 | 0,8900 | 1,7821 | 1,9420 |
| 2 | 1,1264 | 0,7921 | 1,0119 | 0,7843 | 0,9960 | 0,1286 | 0,9824 | 1,2356 |
| 3 | 0,6547 | 0,1958 | 0,4406 | 0,1133 | 0,4490 | 0,6372 | 0,2898 | 0,7578 |
| 4 | 0,0438 | 0,4899 | 0,2721 | 0,6012 | 0,2767 | 1,1600 | 0,5737 | 0,0217 |
| 5 | 1,1518 | 1,5414 | 1,3527 | 1,5572 | 1,3577 | 1,9348 | 1,6580 | 1,1983 |

¹Ver código en Cuadro 4.5.

Tabla 4.3. Valores estandarizados continuos equivalentes para la escala Likert

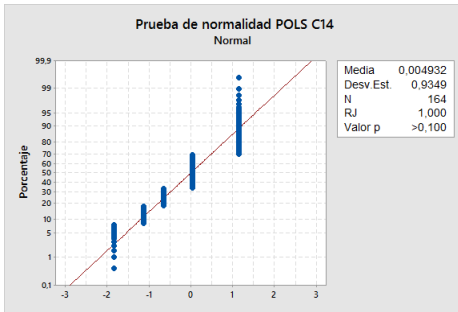
Fuente: elaboración propia

Los resultados de la transformación POLS correspondiente a la muestra completa de alumnos se recogen en la Tabla A4.1 del Anexo del Capítulo 4.

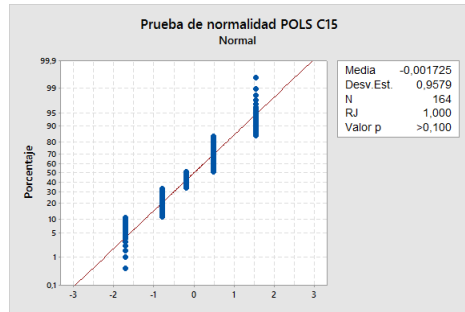
4.4.2.1.2. Construcción del gráfico T^2 de Hotelling

Una vez obtenidos y preparados los datos del estudio, para una correcta aplicación de los gráficos es necesario verificar, a través de las correspondientes pruebas estadísticas, el cumplimiento de los supuestos de normalidad y correlación de las variables a considerar en el estudio.

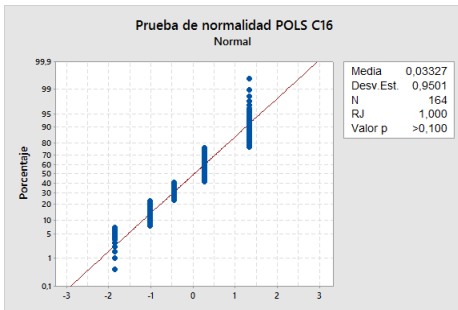
Aunque la transformación POLS aplicada garantiza el supuesto de normalidad, se presentan, para cada una de las características analizadas (competencias y habilidades), las pruebas de normalidad de Ryan-Joiner, equivalentes a la prueba Shapiro Wilk, con una confiabilidad del 95% ($\alpha = 0,05$), efectuadas a través de la aplicación correspondiente del software estadístico Minitab 17. Los resultados para cada variable se presentan en el Cuadro 4.6.



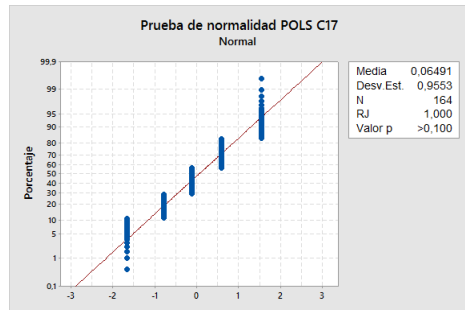
$$RJ = 1; p > 0,1 \Rightarrow C14 \sim N(\mu, \sigma)$$



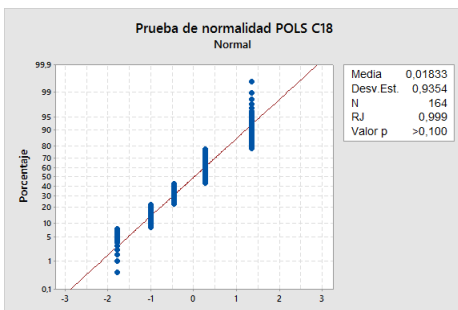
$$RJ = 1; p > 0,1 \Rightarrow C15 \sim N(\mu, \sigma)$$



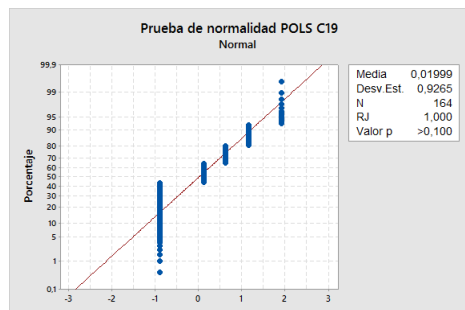
$$RJ = 1; p > 0,1 \Rightarrow C16 \sim N(\mu, \sigma)$$



$$RJ = 1; p > 0,1 \Rightarrow C17 \sim N(\mu, \sigma)$$



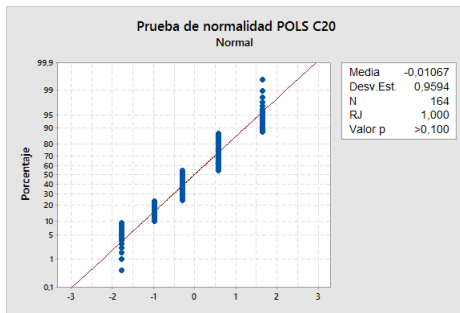
$$RJ=0,99; p > 0,1 \Rightarrow C18 \sim N(\mu, \sigma)$$



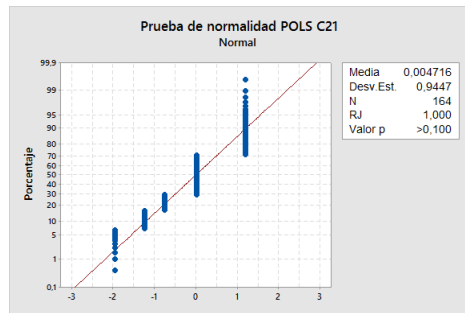
$$RJ=1; p > 0,1 \Rightarrow C19 \sim N(\mu, \sigma)$$

Cuadro 4.6. Prueba de normalidad Ryan-Joiner de las variables (continua)

Fuente: elaboración propia



$$RJ=1;p>0,1\Rightarrow C20\sim N(\mu,\sigma)$$



$$RJ=1;p>0,1\Rightarrow C21\sim N(\mu,\sigma)$$

Cuadro 4.6. Prueba de normalidad Ryan-Joiner de las variables (continuación)

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con las pruebas de normalidad calculadas, se infiere que, para cada una de las variables, p toma un valor mayor que 0,10, confirmándose, por tanto, que todas las variables siguen una distribución normal $N(\mu, \sigma)$, por lo que no será necesario aplicar procedimientos adicionales de normalización.

Por otro lado, para justificar la viabilidad de implantación de un modelo multivariado, se hace necesario llevar a cabo un análisis de correlación entre las variables (para medir la intensidad y dirección en que dos variables se relacionan de manera lineal). Para ello, calculamos la matriz de correlación (para el intervalo de confianza del 95%, $\alpha = 0,05$) y el análisis de los coeficientes Pearson (ρ). Los resultados de dicho análisis se presentan el Cuadro 4.7.

| | C14 | C15 | C16 | C17 | C18 | C19 | C20 |
|-----|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|
| C15 | 0,42 | | | | | | |
| C16 | 0,254 | 0,287 | | | | | |
| C17 | 0,443 | 0,585 | 0,238 | | | | |
| C18 | 0,419 | 0,391 | 0,208 | 0,519 | | | |
| C19 | -0,016 | -0,019 | 0,031 | -0,012 | -0,041 | | |
| C20 | 0,193 | 0,443 | 0,223 | 0,421 | 0,361 | 0,020 | |
| C21 | 0,470 | 0,477 | 0,281 | 0,388 | 0,575 | -0,091 | 0,333 |

| | |
|-------------------------|-------------------------|
| p valor (C14,C15)=0 | p valor (C16,C18)=0,008 |
| p valor (C14,C16)=0,001 | p valor (C16,C19)=0,695 |
| p valor (C14,C17)=0 | p valor (C16,C20)=0,004 |
| p valor (C14,C18)=0 | p valor (C16,C21)=0 |
| p valor (C14,C19)=0,84 | p valor (C17,C18)=0 |
| p valor (C14,C20)=0,013 | p valor (C17,C19)=0,878 |
| p valor (C14,C21)=0 | p valor (C17,C20)=0 |
| p valor (C15,C16)=0 | p valor (C17,C21)=0 |
| p valor (C15,C17)=0 | p valor (C18,C19)=0,601 |
| p valor (C15,C18)=0 | p valor (C18,C20)=0 |
| p valor (C15,C19)=0,806 | p valor (C18,C21)=0 |
| p valor (C15,C20)=0 | p valor (C19,C20)=0,802 |
| p valor (C15,C21)=0 | p valor (C19,C21)=0,248 |
| p valor (C16,C17)=0,002 | p valor (C20,C21)=0,0 |

p ≤ 0,05 existe una correlación significativa
 p > 0,05 no existe correlación significativa

Cuadro 4.7. Análisis de correlación (matriz de correlación y coeficiente Pearson)

Fuente: elaboración propia

Debido a la alta correlación existente entre las características de la calidad a evaluar, y que dicha relación puede generar señales fuera de control que no son detectados al monitorizar cada variable de manera individual²⁸ (Montgomery, 2001), queda plenamente argumentado y justificado la implementación de un modelo multivariado.

Verificados los requisitos de normalidad y correlación, la siguiente fase del proceso comprende el cálculo de los estadísticos necesarios para la representación gráfica de la variación del proceso mediante el gráfico T² de Hotelling.

El estadístico de Hotelling se obtiene a través de:

²⁸ Al realizar el control de las características de manera independiente se está obviando cualquier tipo de relación que pudiera existir entre las características de calidad. En términos estadísticos se estaría obviando la información contenida en la estructura de covarianza de las características.

$$T^2 = (X - \bar{X})' S^{-1} (X - \bar{X}) \quad 4.2$$

donde $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ es el vector de medias y $S = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(X_i - \bar{X})'$ es la matriz de varianzas y covarianzas estimadas del proceso en base a un conjunto de n vectores, que se asume están bajo control estadístico y X es el vector asociado con la pieza a evaluar.

Para el caso de estudio, las Tablas 4.4 y 4.5 presentan las estimaciones preliminares del vector de medias \bar{X} y la matriz de varianzas y covarianzas S estimadas del proceso, generados con el software Minitab 17.

x [0,011 0,0013 0,0269 0,0638 0,0265 0,0145 -0,0007 0,0048]

Tabla 4.4. Vector media

Fuente: elaboración propia

| | C14 | C15 | C16 | C17 | C18 | C19 | C20 | C21 |
|-----|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| C14 | 0,874088 | | | | | | | |
| C15 | 0,383899 | 0,917492 | | | | | | |
| C16 | 0,225939 | 0,260825 | 0,902777 | | | | | |
| C17 | 0,395511 | 0,535282 | 0,216109 | 0,912680 | | | | |
| C18 | 0,366784 | 0,350000 | 0,184824 | 0,463531 | 0,874892 | | | |
| C19 | -0,013747 | -0,017125 | 0,027122 | -0,010722 | -0,035633 | 0,858384 | | |
| C20 | 0,173065 | 0,407377 | 0,203711 | 0,386250 | 0,323784 | 0,017514 | 0,920462 | |
| C21 | 0,415568 | 0,431872 | 0,251879 | 0,350277 | 0,508190 | -0,079484 | 0,301935 | 0,892536 |

Tabla 4.5. Matriz de covarianza

Fuente: elaboración propia

Con estas primeras estimaciones se procede a valorar el estado de control del proceso, construyendo un gráfico de control T^2 de Hotelling.

Los resultados analíticos derivados del cálculo de los puntos estadístico T^2 para las 165 observaciones se puede consultar en el Anexo del Capítulo 4 (ver Tabla A4.2) y a continuación, en el Gráfico 4.7, se exponen gráficamente los resultados del modelo.

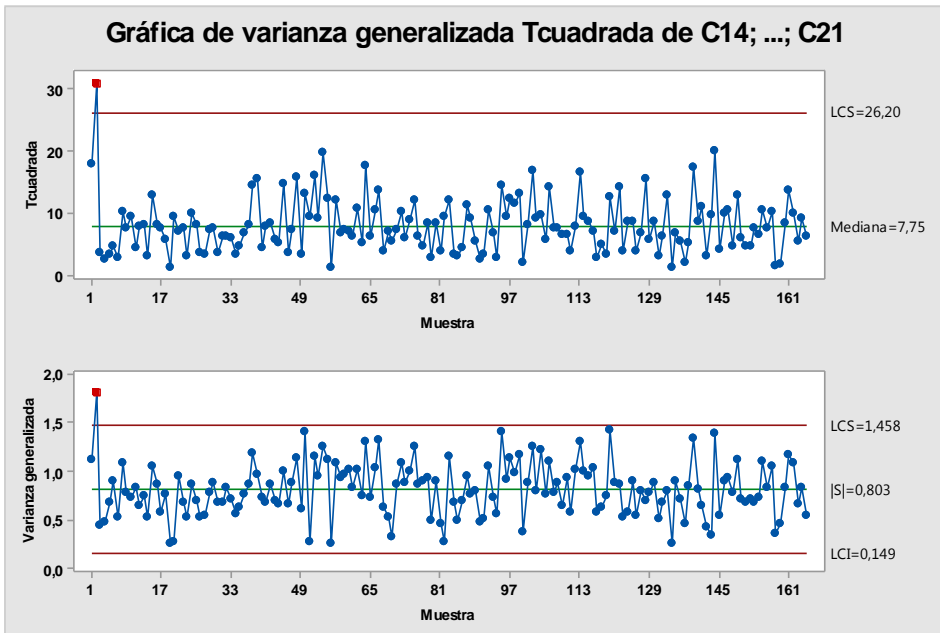


Gráfico 4.7. Gráfico T^2 de Hotelling (165 observaciones)
Fuente: elaboración propia

Como puede observarse en el Gráfico 4.7, solo la observación 2 se encuentra fuera de control estadístico. Por tanto, se rechaza la H_0 y se acepta la hipótesis alternativa H_1 (el proceso de aprendizaje se encuentra fuera de control).

Para realizar un estudio completo, que nos permita verificar que el proceso es estable (o sigue estando bajo control), hay que eliminar la observación 2 del proceso y volver a estimar los parámetros de media y covarianza del proceso con las observaciones restantes (ver Tablas 4.6 y 4.7) y volver a representar gráficamente los puntos y verificar si todas las muestras están comprendidas en el intervalo de control.

| | | | | | | | | |
|-----|---------|---------|--------|--------|--------|------|---------|---------|
| x | [0,0231 | -0,0081 | 0,0384 | 0,0547 | 0,0375 | 0,02 | -0,0107 | 0,0167] |
|-----|---------|---------|--------|--------|--------|------|---------|---------|

Tabla 4.6. Vector media (164 observaciones)
Fuente: elaboración propia

| | C14 | C15 | C16 | C17 | C18 | C19 | C20 | C21 |
|-----|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| C14 | 0,861067 | | | | | | | |
| C15 | 0,404889 | 0,904325 | | | | | | |
| C16 | 0,197241 | 0,275533 | 0,887695 | | | | | |
| C17 | 0,411283 | 0,520551 | 0,234544 | 0,899109 | | | | |
| C18 | 0,355511 | 0,371232 | 0,155308 | 0,478768 | 0,865586 | | | |
| C19 | -0,030418 | -0,011256 | 0,022443 | -0,001396 | -0,053175 | 0,858384 | | |
| C20 | 0,203637 | 0,396613 | 0,212290 | 0,369148 | 0,355953 | 0,017514 | 0,920462 | |
| C21 | 0,393500 | 0,450430 | 0,229218 | 0,368204 | 0,486567 | -0,090447 | 0,322039 | 0,869143 |

Tabla 4.7. Matriz de covarianza (164 observaciones)

Fuente: elaboración propia

El Gráfico 4.8 muestra los resultados²⁹ para el nuevo vector de medias X y la matriz de varianzas y covarianzas S estimadas del proceso.

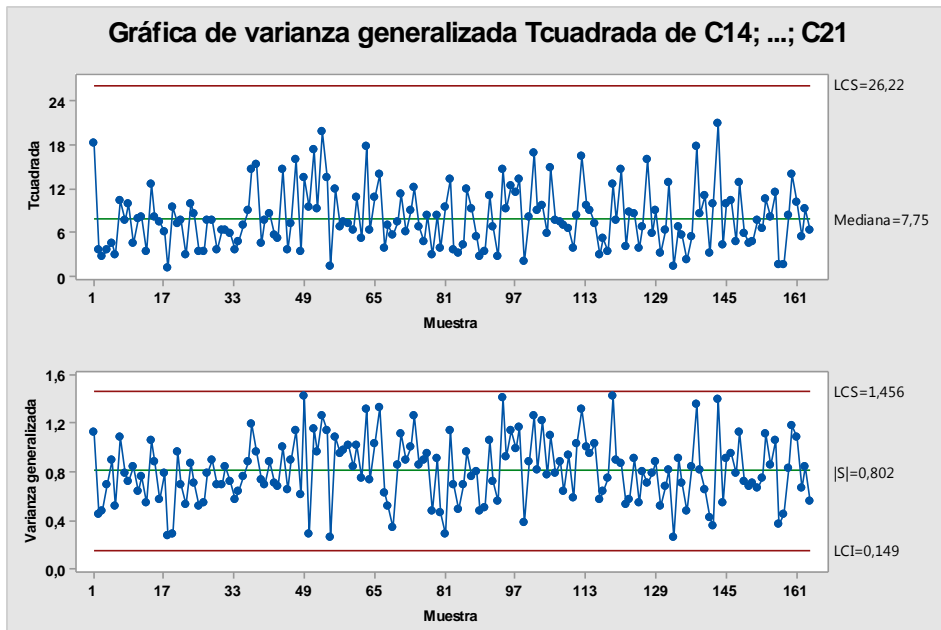


Gráfico 4.8. Gráfico T^2 de Hotelling (164 observaciones, sin la observación 2)

Fuente: elaboración propia

²⁹ Los resultados analíticos derivados del cálculo de los puntos estadístico T^2 para las 164 observaciones se puede consultar en el Tabla A4.2 del Anexo del Capítulo 4.

El diagnóstico del gráfico de control es muy claro, ninguna observación sobrepasa el intervalo de control, por lo que se cumple la hipótesis nula H_0 , es decir, el proceso está bajo control estadístico. Sin embargo, el gráfico no proporciona información acerca de la fuente de variación del proceso, por lo cual se debe recurrir a técnicas complementarias, que nos permita identificar las variables que pueden ser causantes de la variación del proceso.

Entre las posibles opciones propuestas para detectar las posibles causas de variación en el gráfico³⁰ T^2 (ver Apartado 2.3.1.2), hemos aplicado tres métodos con un fin comparativo. En primer lugar, hemos aplicado el método de la descomposición del estadístico³¹ T^2 (Murphy, 1987), en segundo lugar, se han elaborado gráficos de control univariados de observaciones individuales para cada una de las características de calidad monitorizadas, y, por último, aplicamos el método de Análisis de Componentes Principales (ACP).

4.4.2.1.3. Descomposición del estadístico T^2 de Hotelling por el Método Murphy

La descomposición del estadístico T^2 por este método, consiste en calcular dos estadísticos T^2 , uno con todas las características de calidad y el otro calculando su valor sin incluir una de las características de calidad, con el fin de determinar cuál es la variable que presenta una mayor contribución al total del estadístico. De esta forma, cuanto mayor sea la diferencia entre los estadísticos $T^2(1)$ y $T^2(2)$ se puede concluir que es mayor la contribución generada por la variable omitida.

Los resultados resumidos de la descomposición del estadístico T^2 para la observación 2 se presenta en la Tabla 4.8³².

³⁰ Bajo el supuesto inicial de 165 observaciones.

³¹ Para un análisis completo de la descomposición del estadístico T^2 Hotelling, ver Piña-Monarez, 2013.

³² Para el resto de observaciones, los datos se recogen en la Tabla A4.2 del Anexo del Capítulo 4

| $T^2(1)$ | $T^2(2)$ | D_{14} | D_{15} | D_{16} | D_{17} | D_{18} | D_{19} | D_{20} | D_{21} |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 30,8437 | 1,803 | 2,962 | 3,641 | 3,976 | 4,150 | 3,895 | 1,413 | 2,735 | 2,243 |

Tabla 4.8. Descomposición del estadístico T^2 de Hotelling con el método Murphy
Fuente: elaboración propia

En la Tabla 4.7 puede notarse como las variables C16 (estudio de forma continuada) y C17 (habilidad de comunicación) son identificadas como posibles fuentes de variación para la totalidad de las muestras evaluadas. De esta manera se sospecha, en principio, que el proceso presenta un problema frente a la estabilidad de dichas variables.

4.4.2.1.4. Construcción de gráficos individuales I-MR

Nos planteamos ahora aplicar otra de las alternativas propuestas para identificar las posibles causas de la variación del proceso de aprendizaje. Se trata de la elaboración de los gráficos de control univariados para analizar la variabilidad, por separado, de cada una de las características de calidad consideradas en el estudio. Los resultados obtenidos nos permitirán determinar si existen diferencias significativas, respecto a los resultados obtenidos de la aplicación del gráfico multivariado T^2 Hotelling.

Debido a que cada alumno contribuye sólo con un punto en cada una de las dimensiones de las características de calidad que estamos evaluando (el proceso que estamos investigando, produce ítems individuales -"alumnos satisfechos"-), proponemos la utilización de los gráficos de control para observaciones individuales³³ (ver Apartado 2.3.1.1.3.4) para detectar aquellos alumnos que pudieran haber tenido experiencia anómalas en el proceso de la implantación de la estrategia docente que estamos evaluando.

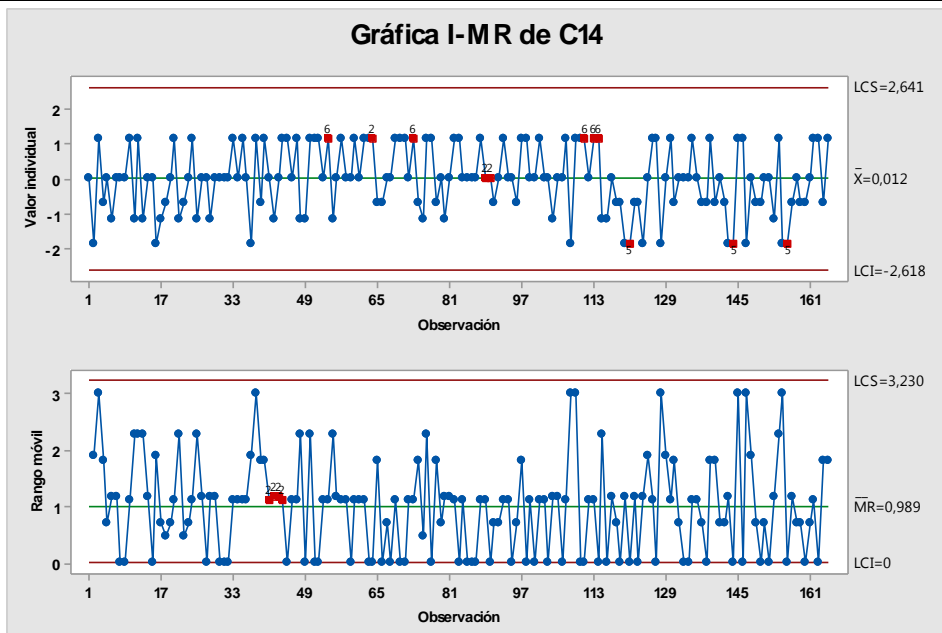
³³ Para aplicar los gráficos convencionales $X-R$ y $X-S$ habría que extraer de manera arbitraria muestras de alumnos (4 ó 5 elementos) de los grupos de prácticas en los que pasamos los cuestionarios. Sin embargo, si bien en principio podría considerarse dicha opción, los resultados podrían no ser fiables, porque la composición de los grupos no es homogénea, tal como quedó reflejado en el análisis estadístico descriptivo presentado en el Apartado 2.3.1.1.3.4 (Duncan, 1986).

A continuación, en los siguientes Gráficos (4.9-4.16) se muestran los resultados obtenidos de la aplicación de los gráficos individuales I-MR para cada una de las variables, incluyendo el análisis de patrones de comportamiento incluidos en el paquete estadístico Minitab 17, y que se detalla en el Cuadro 4.8.

| Prueba | Definición |
|---------------|--|
| 1 | 1 punto > 3σ desde la línea central. |
| 2 | 9 puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central. |
| 3 | 6 puntos consecutivos, todos ascendentes o descendentes. |
| 4 | 14 puntos consecutivos, alternando hacia arriba y hacia abajo. |
| 5 | 2 de 3 puntos > 2σ desde la línea central al mismo lado. |
| 6 | 4 de 5 puntos > 1σ desde la línea central al mismo lado. |
| 7 | 15 puntos consecutivos dentro de 1σ de la línea central a cualquier lado. |
| 8 | 8 puntos consecutivos > 1σ desde la línea central a cualquier lado. |

Cuadro 4.8. Patrones de comportamiento

Fuente: Minitab 17 Statistical Software.



Comportamientos anormales

Gráfica de media (I)

Gráfica de rango (MR)

Prueba 2: La prueba falló en los puntos: 64; 89; 90

Prueba 2. La prueba falló en los puntos: 41; 42; 43; 44

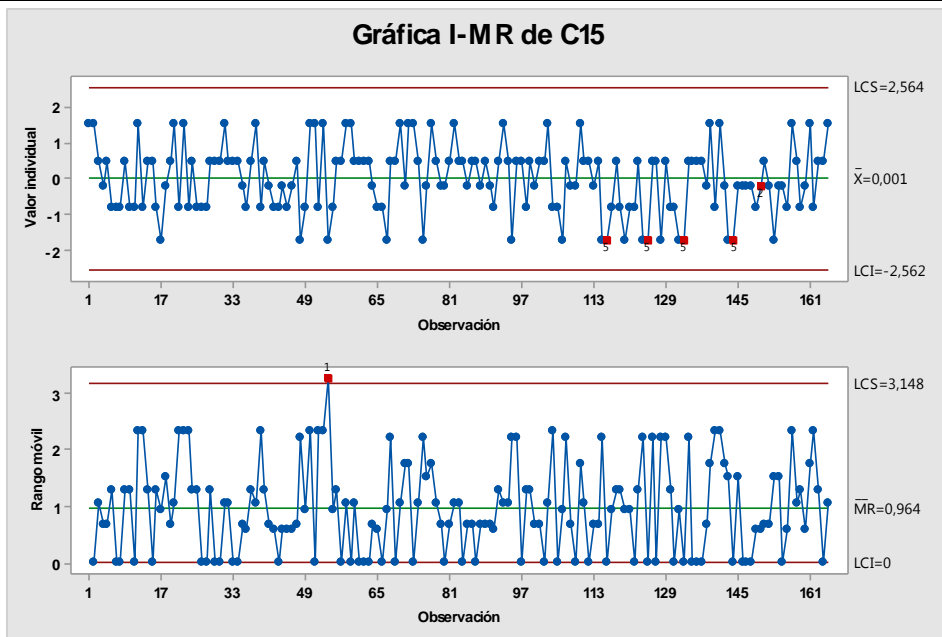
Prueba 5. La prueba falló en los puntos: 121; 144; 156

Prueba 6: La prueba falló en los puntos: 54; 64; 73; 111; 113; 114

Observación: no hay puntos fuera de los límites de control, aunque sí comportamientos anormales en los puntos señalados

Gráfico 4.9. Gráfico I-MR para C14 (Autonomía y responsabilidad)

Fuente: elaboración propia



Comportamientos anormales

Gráfica de media (I)

Gráfica de rango (MR)

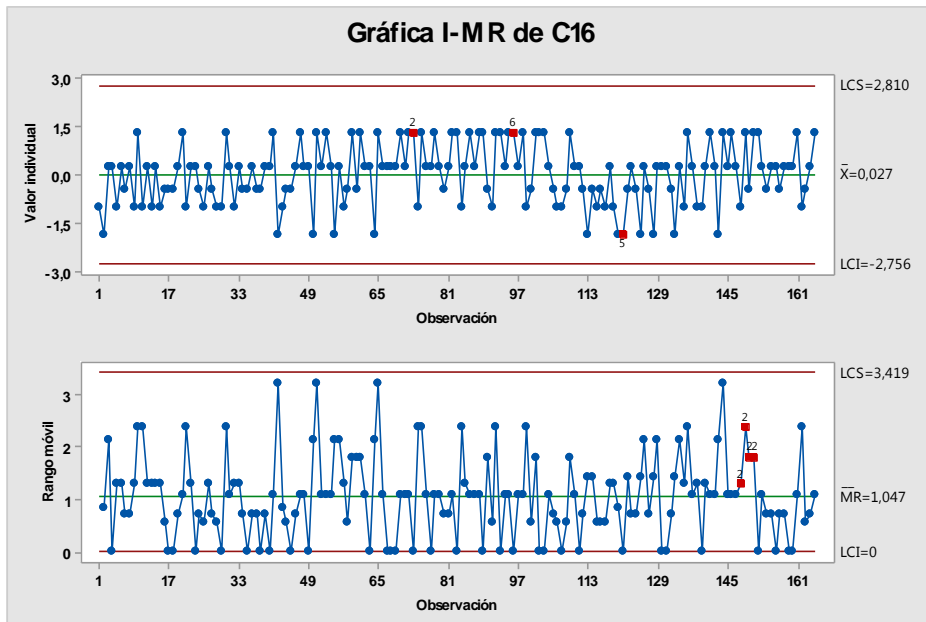
PRUEBA 2: La prueba falló en el punto: 150 PRUEBA 1: La prueba falló en los puntos: 54

PRUEBA 5: La prueba falló en los puntos: 116; 125; 133; 144

Observación: la observación 54 está fuera de control, sin embargo este punto no fue detectado por el gráfico X ni por el gráfico T²

Gráfico 4.10. Gráfico I-MR para C15 (Capacidad de aprendizaje)

Fuente: elaboración propia



Comportamientos anormales

Gráfica de media (I)

Gráfica de rango (MR)

PRUEBA 2: La prueba falló en los puntos:
73

PRUEBA 2: La prueba falló en los puntos:
148; 149; 150; 151

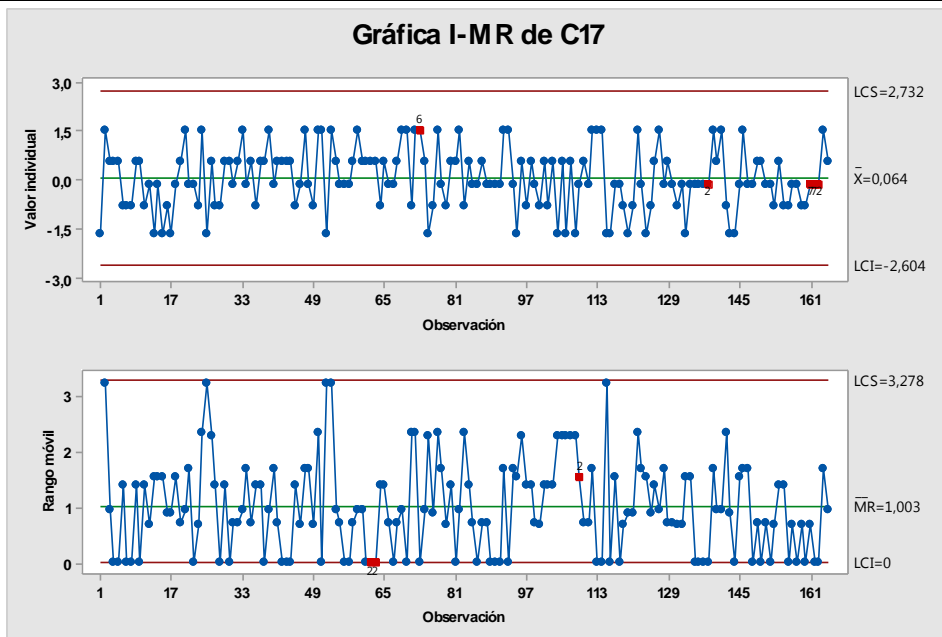
PRUEBA 5: La prueba falló en los puntos:
121

PRUEBA 6: La prueba falló en los puntos:
96; 121

Observación: no se observan puntos fuera de los límites de control, aunque sí algunos comportamientos anormales en los puntos señalados

Gráfico 4.11. Gráfico I-MR para C16 (Estudio de forma continuada)

Fuente: elaboración propia



Comportamientos anormales

Gráfica de media (I)

Gráfica de rango (MR)

PRUEBA 2: La prueba falló en los puntos:
138; 163

PRUEBA 2: La prueba falló en los puntos:
62; 63; 109

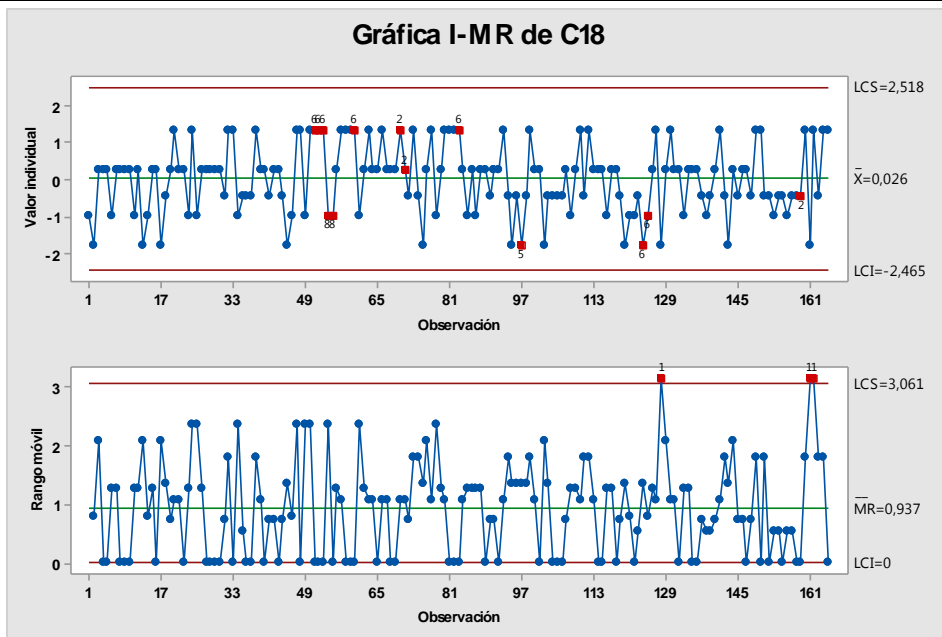
PRUEBA 6: La prueba falló en los puntos:
73

PRUEBA 7: La prueba falló en los puntos:
161; 162; 163

Observación: no se observan puntos fuera de los límites de control, aunque sí algunos comportamientos anormales en los puntos señalados

Gráfico 4.12. Gráfico I-MR para C17 (Habilidad de comunicación)

Fuente: elaboración propia



Comportamientos anormales

Gráfica de media (I)

Gráfica de rango (MR)

PRUEBA 2: La prueba falló en los puntos:
70; 71; 159

PRUEBA 1: La prueba falló en los puntos:
128; 161; 162

PRUEBA 5: La prueba falló en los puntos:
97

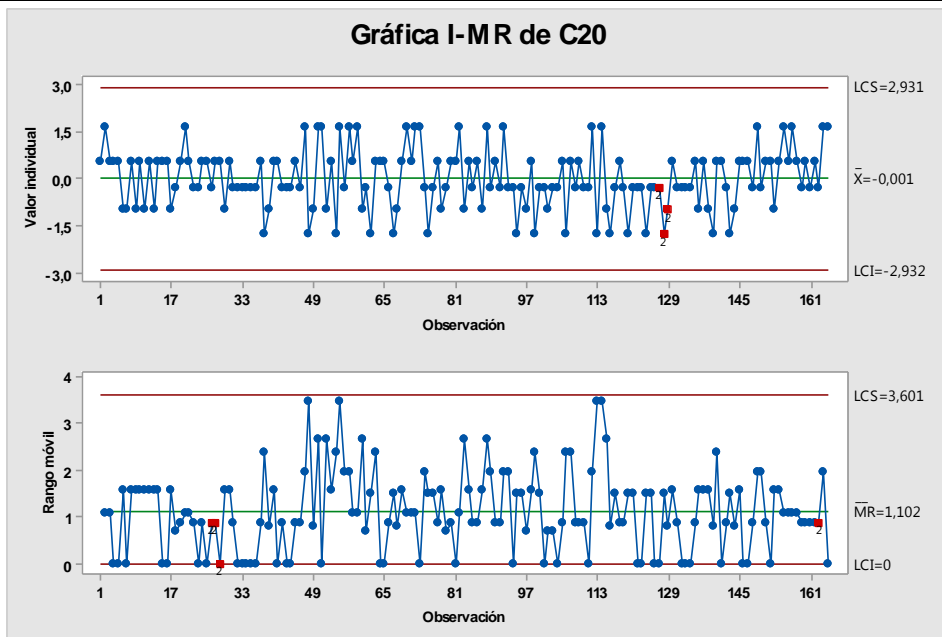
PRUEBA 6: La prueba falló en los puntos:
51; 52; 53; 60; 83; 124; 125

PRUEBA 8: La prueba falló en los puntos:
52; 53; 54; 55

Observación: el gráfico MR detecta las observaciones 128, 161 y 162 fuera de control estadístico no detectadas por el gráfico T^2

Gráfico 4.13. Gráfico I-MR para C18 (Capacidad de análisis y síntesis)

Fuente: elaboración propia



Comportamientos anormales

Gráfica de media (I)

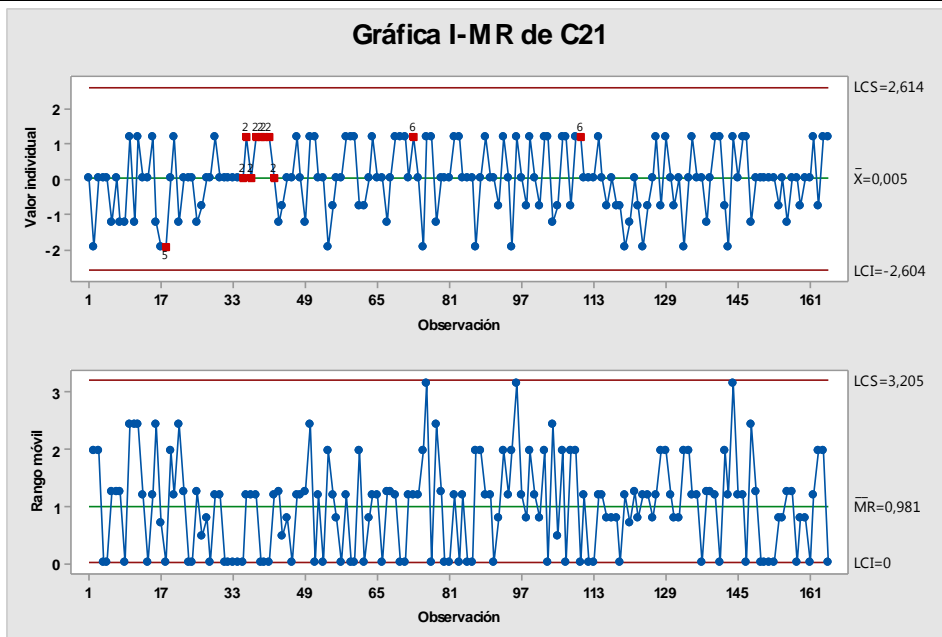
Gráfica de rango (MR)

PRUEBA 2: La prueba falló en los puntos:
127; 128; 129

PRUEBA 2: La prueba falló en los puntos:
26; 27; 28; 163

Observación: no se observan puntos fuera de los límites de control, aunque sí algunos comportamientos anormales en los puntos señalados

Gráfico 4.15. Gráfico I-MR para C20 (Capacidad de crítica y evaluación)
Fuente: elaboración propia



Comportamientos anormales

Gráfica de media (I)

Gráfica de rango (MR)

PRUEBA 2: La prueba falló en los puntos:
35; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 42

PRUEBA 5: La prueba falló en los puntos:
18

PRUEBA 6: La prueba falló en los puntos:
40; 41; 73; 110

Observación: no se observan puntos fuera de los límites de control, aunque sí algunos comportamientos anormales en los puntos señalados

Gráfico 4.16. Gráfico I-MR para C21 (Capacidad para detectar problemas)

Fuente: elaboración propia

A modo de resumen y de manera conjunta, para un mejor análisis, en la Tabla 4.9 se recogen los resultados de las pruebas realizadas para detectar posibles patrones de comportamiento para las medias de observaciones individuales. Esto nos permitirá identificar las posibles causas de variabilidad del proceso.

| Prueba ¹ | C14 | C15 | C16 | C17 | C18 | C19 | C20 | C21 |
|---------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------|---------------------|--|---|---------------------|--|
| 1 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2 | 64, 89, 90 | 150 | 73 | 138, 163 | 70, 71, 159 | 14 | 127, 128, 129 | 35, 36, 37, 38, 39,40, 41, 42 |
| 5 | 121, 144, 156 | 116, 125, 133, 144 | 121 | - | 97 | 66, 67 | - | 18 |
| 6 | 54, 64, 73, 111, 113, 114 | - | 96, 121 | 73 | 51, 52, 53, 60, 83, 124, 125 | 32, 54, 60, 62, 63, 86, 87, 89, 90, 91, 92, 114, 132, 133, 143, 144, 146 | - | 40, 41, 73, 110 |
| 7 | - | - | - | 161, 162, 163 | - | - | - | - |
| 8 | - | - | - | - | 52, 53, 54, 55 | - | - | - |

¹ Ver el tipo de prueba en el Cuadro 4.8.

Tabla 4.9. Anomalías en los gráficos de control de media individuales (I)

Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 4.9, no se detectaron puntos por encima de 3σ desde la línea central (Prueba 1), lo que confirma, que el proceso se encuentra bajo control estadístico, al igual que en el caso del análisis multivariado.

Por otro lado, y de la misma manera que para los gráficos individuales de medias, en la Tabla 4.10 se recogen de manera conjunta los resultados de las pruebas realizadas para detectar posibles patrones de comportamiento para los rangos de observaciones individuales.

| Prueba ¹ | C14 | C15 | C16 | C17 | C18 | C20 |
|---------------------|-------------|-----|-----------------------------|----------------|---------------------|--------------------|
| 1 | - | 54 | - | - | 128, 161, 162 | - |
| 2 | 41,42,43,44 | - | 148, 149, 150, 151 | 62, 63, 109 | - | 26, 27, 28, 163 |

¹ Ver el tipo de prueba en el Cuadro 4.8.

Tabla 4.10. Anomalías en los gráficos de control de rango móvil individuales (MR)
Fuente: elaboración propia

A diferencia de los resultados del análisis individual de medias, como puede observarse en la Tabla 4.9, se detectaron 4 puntos fuera de control estadístico, la observación 54 para la característica de calidad C15 (capacidad de aprendizaje), y las observaciones 128, 161 y 162 para la característica de calidad C18 (capacidad de análisis y síntesis).

Por tanto, a priori, según el análisis conjunto de los gráficos univariados para observaciones individuales de media y rango, el proceso de aprendizaje no está bajo control. No obstante, aunque la detección de puntos fuera del intervalo de control [LCS, LCI], se considera teóricamente motivo para rechazar la hipótesis nula (el proceso está fuera de control estadístico), como sólo existen 1 y 3 puntos teóricos fuera de control para las competencias C15 y C18 respectivamente, y teniendo en cuenta, además, que se están evaluando ocho competencias de aprendizaje de calidad, en una muestra amplia de 165 observaciones, puede concluirse, desde un punto de vista más práctico, que bajo el enfoque univariado, el proceso de aprendizaje está bajo control estadístico.

Además, el estudio individual de las competencias de aprendizaje, revela patrones de comportamiento diferentes que asociamos a las características de los grupos de clases (ver Apartado 4.4.1.1). A título de ejemplo, sin ánimo de ser exhaustivo, en los Gráficos 4.17 y 4.18 hemos recogido, por grupos de clases, los resultados de las pruebas 2 y 5, por ser los comportamientos anómalos que más se repitan en este estudio.

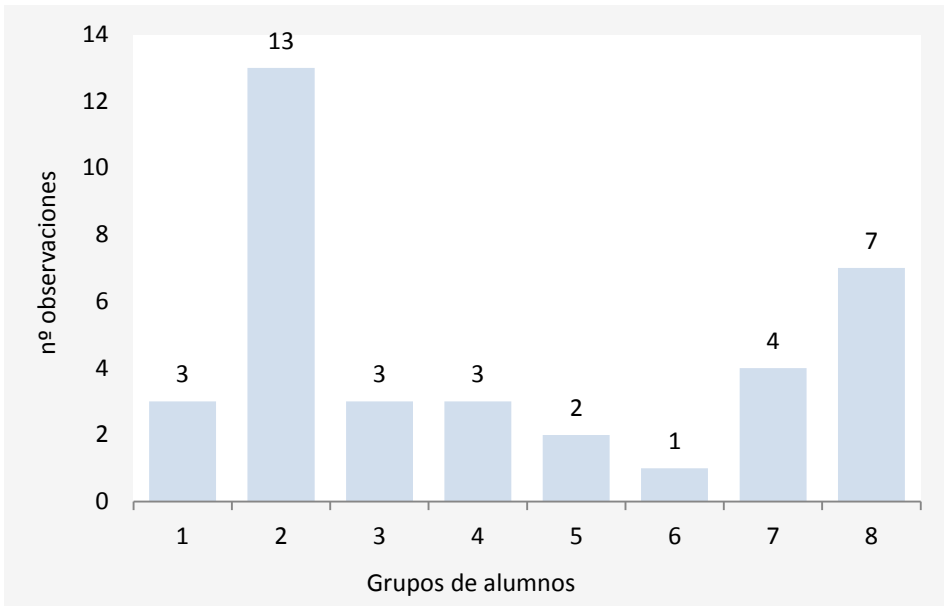


Gráfico 4.17. Resultados de la prueba 2 por grupos de clases
Fuente: elaboración propia

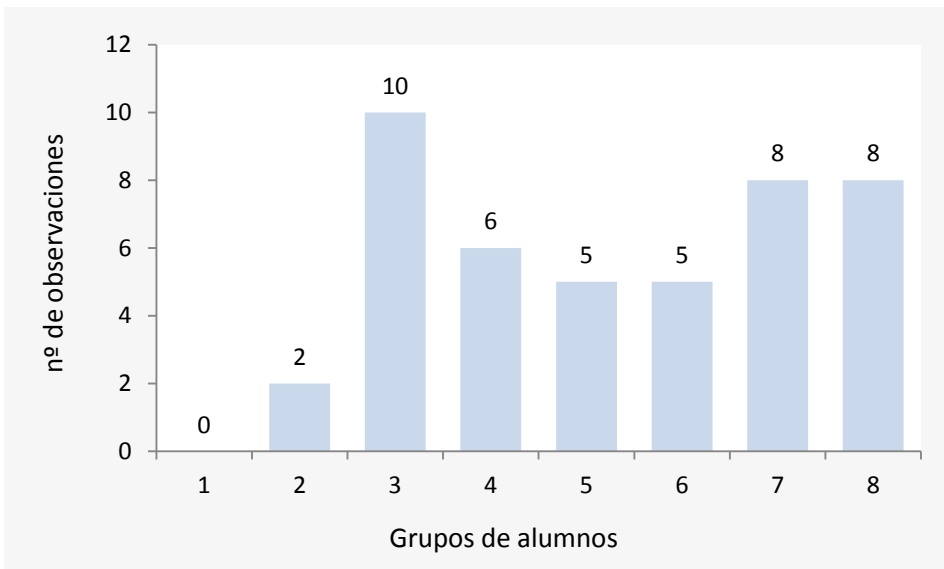


Gráfico 4.18. Resultados de la prueba 5 por grupos de clases
Fuente: elaboración propia

Por otro lado, si analizamos los comportamientos anormales por competencias evaluadas y por grupos, obtenemos los resultados que se presentan en el Gráfico 4.19.

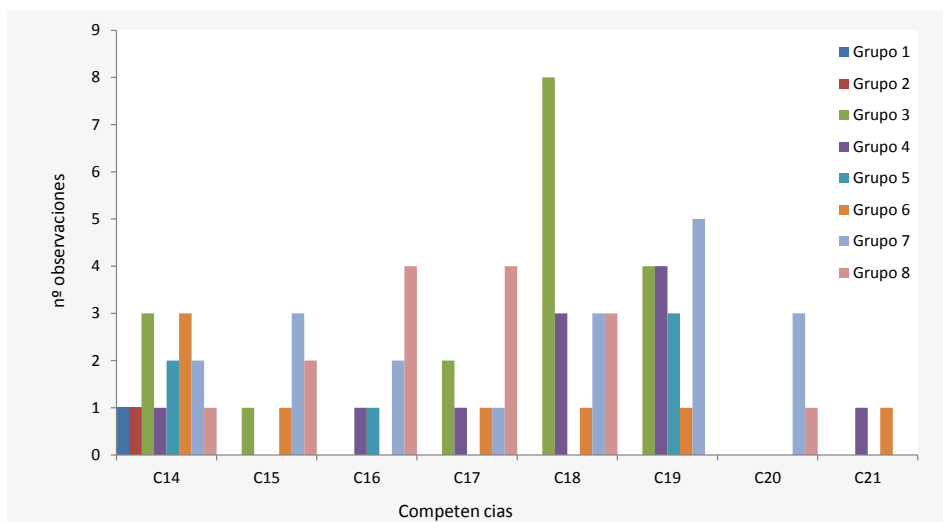


Gráfico 4.19. Distribución de patrones de comportamiento por competencias y grupos de alumnos

Fuente: elaboración propia

4.4.2.1.5. Análisis de Componentes Principales

Para completar el estudio de la variabilidad del proceso de aprendizaje evaluado, hemos aplicado como última opción el Análisis de Componentes Principales (ACP).

El ACP³⁴ es una de las técnicas de reducción dimensional en el ámbito del análisis multivariante, que tienen como objetivo común simplificar un conjunto de datos multidimensional. El fundamento de la técnica consiste en proponer un cambio de la base vectorial inicial, dada por las variables medidas, a una base ortonormal constituida por autovectores de la matriz de covarianzas. De esta transformación se obtienen nuevas variables incorreladas entre sí, que se denominan componentes principales (CP). Así, una aplicación adecuada del ACP permite una comprensión mejor de los datos, al poder reducir el problema a un número más reducido de variables, que sean combinaciones lineales de las

³⁴ Para un análisis detallado de la técnica ver Dunteman (1989).

variables originales, recogiendo la mayor parte de la información o variabilidad de los datos.

Tal como se demostró en el Cuadro 4.7, los constructos originales de las características de calidad C14-C21 presentan un alto nivel de intercorrelación, con lo que parece adecuado, aplicar el método de ACP, toda vez que no tendría sentido realizar un ACP cuando las variables originales no están correlacionadas de partida.

A continuación, en la Tabla 4.11 se presentan los resultados obtenidos de los valores y vectores propios de la matriz de covarianza para las 164 observaciones incluidas, una vez eliminada la observación 2 y con el proceso bajo control estadístico. Los valores de todas las observaciones, en términos de los componentes principales, como combinaciones lineales de las variables originales, recogiendo la mayor parte de información o variabilidad de los datos, se recogen en el Anexo 4 (ver Tabla A4.3).

| | | | | | | | | |
|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Valores propios | 3,001 | 0,901 | 0,757 | 0,690 | 0,536 | 0,469 | 0,431 | 0,281 |
| Proporción | 0,425 | 0,128 | 0,107 | 0,098 | 0,076 | 0,066 | 0,061 | 0,040 |
| Acumulada | 0,425 | 0,552 | 0,659 | 0,757 | 0,833 | 0,899 | 0,960 | 1,000 |
| Variable | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 | PC6 | PC7 | PC8 |
| C14 | 0,360 | -0,096 | 0,064 | -0,577 | 0,160 | 0,308 | 0,632 | -0,069 |
| C15 | 0,431 | 0,071 | -0,022 | -0,025 | 0,434 | 0,317 | -0,568 | -0,444 |
| C16 | 0,245 | 0,330 | -0,870 | -0,063 | -0,165 | -0,188 | 0,069 | -0,048 |
| C17 | 0,427 | 0,048 | 0,152 | -0,066 | 0,421 | -0,575 | -0,080 | 0,523 |
| C18 | 0,399 | -0,153 | 0,278 | 0,046 | -0,467 | -0,483 | 0,059 | -0,532 |
| C19 | -0,029 | 0,883 | 0,363 | -0,210 | -0,196 | 0,051 | -0,051 | 0,016 |
| C20 | 0,348 | 0,188 | 0,073 | 0,778 | 0,069 | 0,256 | 0,397 | 0,062 |
| C21 | 0,402 | -0,189 | 0,022 | -0,083 | -0,565 | 0,370 | -0,321 | 0,485 |

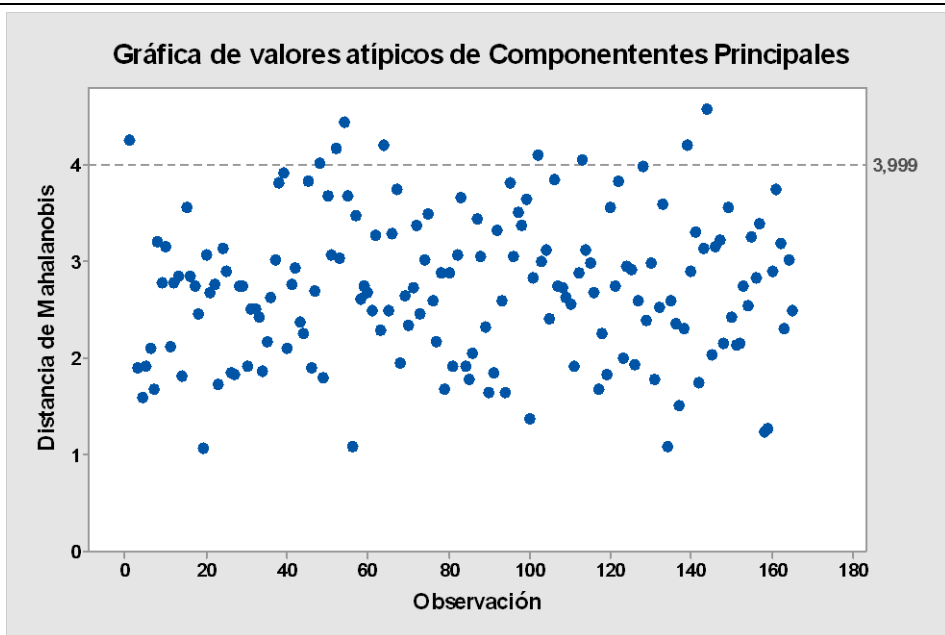
Tabla 4.11. Análisis de componente principal

Fuente: elaboración propia

En el ACP, la distancia de Mahalanobis, es un método mucho más eficiente para detectar valores atípicos, que el procedimiento de examinar una variable bajo el enfoque univariado, toda vez que tiene en cuenta las diferentes escalas entre las variables y las correlaciones entre éstas.

En un proceso bajo control estadístico como el nuestro, valores altos de esta distancia indican qué observaciones presentan mayor variabilidad con respecto al valor central, o no se ajustan a la estructura de correlaciones en un espacio multivariado. Sin embargo, si se examinan estas observaciones individualmente en un gráfico univariado, es posible que los valores que toman para cada una de las variables examinadas, no se alejen de los valores medios.

En el Gráfico 4.20 se muestran los valores atípicos del proceso de evaluación de las competencias C14-C21 en función de la distancia Mahalanobis de los componentes principales.



Valores atípicos: 1, 48, 52, 54, 64, 102, 113, 139 y 144

Gráfico 4.20. Gráfico de valores atípicos de los componentes principales.

Fuente: elaboración propia

Como se pone de manifiesto, el ACP muestra algunas observaciones que aportan una mayor variabilidad al proceso aunque, insistimos, el proceso se encuentra bajo control estadístico. En la Tabla 4.12 se presentan las observaciones atípicas

detectadas con el ACP, ordenadas de mayor a menor variabilidad aportada y en términos de la distancia de Mahalanobis.

| Nº Observación | Distancia Mahalanobis* |
|----------------|------------------------|
| 144 | 4,5701 |
| 54 | 4,4410 |
| 1 | 4,2623 |
| 139 | 4,2131 |
| 64 | 4,2099 |
| 52 | 4,1718 |
| 102 | 4,1003 |
| 113 | 4,0531 |
| 48 | 4,0108 |

Tabla 4.12. Observaciones atípicas detectadas con el ACP

*Nótese que los valores no están muy alejados respecto al límite de variación máxima estimado en 3,999.

4.4.2.2. Aplicación de los gráficos de atributos

A continuación, para abordar la parte final de la aplicación de los gráficos de control en la evaluación del proceso de implantación de la estrategia docente que estamos evaluando, y específicamente, la satisfacción de los alumnos con el recurso didáctico utilizado, aplicamos los gráficos de control de atributos.

A diferencia de los gráficos de control de variables utilizados en el apartado anterior, que analizan el total de las observaciones de manera conjunta (una muestra de 165 observaciones), aplicamos el control de atributos por muestras variables e integradas por los alumnos que asisten a cada uno de los ocho grupos organizados para impartir los contenidos prácticos de la asignatura.

En este caso, analizamos la característica (de atributos) C9 a través del gráfico de control p, que permite analizar la proporción de alumnos insatisfechos con el recurso didáctico utilizado.

De forma complementaria, hemos aplicado el gráfico p, para evaluar, en qué medida, los alumnos están satisfechos/insatisfechos, con respecto al nivel conseguido en la adquisición de competencias y habilidades a las que estaba

orientado el recurso didáctico de guías tutorizadas y que corresponden a las preguntas 14-21 del cuestionario.

Para ello, hemos establecido que un alumno se encuentra satisfecho con el recurso si en la respectiva pregunta del cuestionario, ha respondido 4 ó 5. En caso contrario, consideramos que el alumno se encuentra insatisfecho con el recurso, si ha respondido a los ítems con un valor de 1, 2 ó 3.

La Tabla 4.13 presenta para cada grupo de clase de práctica el número de alumnos insatisfechos (d_i) con el uso del recurso didáctico.

| Grupos | n_i | nº de alumnos insatisfechos ($x_i < 4$) | | | | | | | | |
|--------|-------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | C9 | C14 | C15 | C16 | C17 | C18 | C19 | C20 | C21 |
| 1 | 27 | 7 | 11 | 15 | 15 | 17 | 10 | 19 | 10 | 11 |
| 2 | 21 | 4 | 5 | 10 | 11 | 8 | 9 | 20 | 14 | 2 |
| 3 | 17 | 6 | 3 | 6 | 6 | 6 | 4 | 15 | 7 | 5 |
| 4 | 22 | 2 | 5 | 8 | 3 | 10 | 6 | 16 | 11 | 4 |
| 5 | 9 | 1 | 2 | 4 | 2 | 6 | 4 | 8 | 6 | 2 |
| 6 | 20 | 2 | 4 | 10 | 11 | 11 | 10 | 14 | 14 | 6 |
| 7 | 30 | 11 | 15 | 19 | 15 | 22 | 15 | 25 | 22 | 13 |
| 8 | 19 | 3 | 10 | 12 | 6 | 14 | 12 | 16 | 6 | 5 |
| Total | 165 | 36 | 55 | 84 | 69 | 94 | 70 | 133 | 90 | 48 |

Tabla 4.13. Número de alumnos insatisfechos por grupo de prácticas ($x_i < 4$)
Fuente: elaboración propia

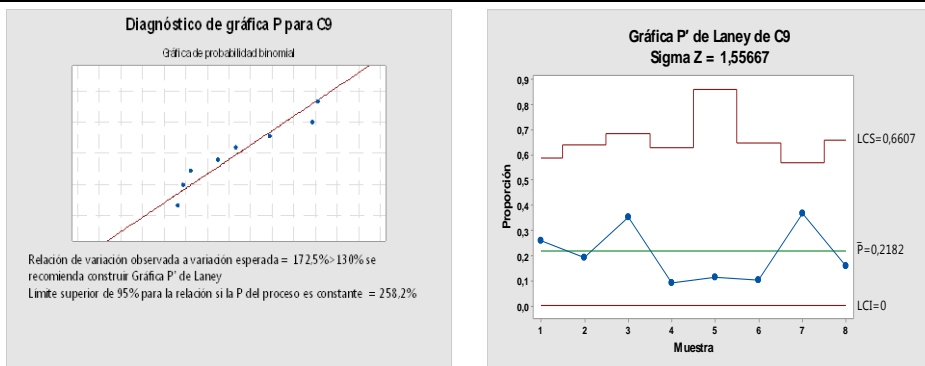
En primer lugar, para proceder a la aplicación, hemos hecho una validación de la distribución de los datos para establecer en qué medida se ajustan a una distribución Binomial que, como se refirió en el Capítulo 2, es el principio estadístico en los que se basa el gráfico de control por proporciones que pretendemos aplicar. Para ello, hemos hecho una prueba de diagnóstico de probabilidad binomial a través del Software Minitab™ 17.

La prueba de diagnóstico genera un índice que indica si existe o no una dispersión excesiva, comparando la relación de variación observada y la variación esperada. Así pues, si ésta relación presenta un índice inferior al 130%, se recomienda construir un gráfico p. En el caso contrario, es más aconsejable construir un

gráfico p' de Laney, porque puede distinguir con más precisión entre una variación de causa común y una variación de causa especial, cuando la dispersión es excesiva o insuficiente.

Los resultados de esta prueba recomiendan aplicar el gráfico p en las variables C15, C18 y C21. En el resto es más aconsejable aplicar la otra alternativa (p' de Laney).

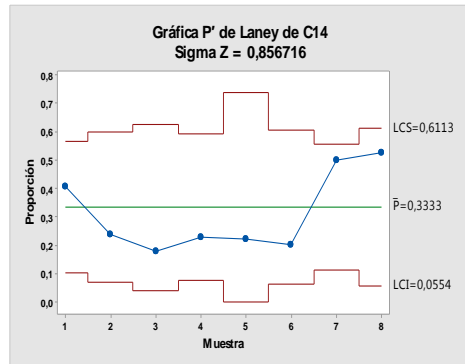
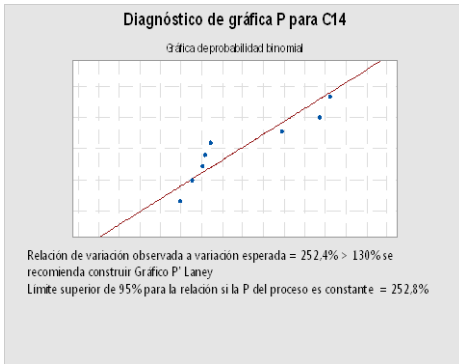
Los resultados gráficos de las pruebas de diagnóstico Binomial, así como los gráficos p o p' de Laney, junto con los datos necesarios para su representación se exponen a continuación en los siguientes Gráficos (4.21-29).



| Grupo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Σ |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| n_i | 27 | 21 | 17 | 22 | 9 | 20 | 30 | 19 | 165 |
| $x_i < 4$ | 7 | 4 | 6 | 2 | 1 | 2 | 11 | 3 | 36 |
| p_i | 0,259 | 0,190 | 0,353 | 0,091 | 0,111 | 0,100 | 0,367 | 0,158 | 0,218 |

Gráfico 4.21. Gráfico p de C9 (satisfacción global)

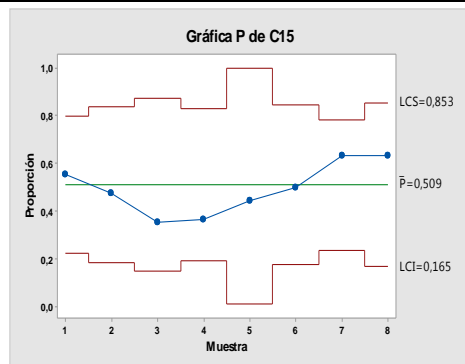
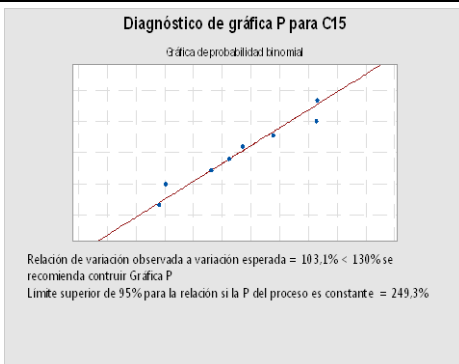
Fuente: elaboración propia



| Grupo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Σ |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| n_i | 27 | 21 | 17 | 22 | 9 | 20 | 30 | 19 | 165 |
| $x_i < 4$ | 11 | 5 | 3 | 5 | 2 | 4 | 15 | 10 | 55 |
| p_i | 0,407 | 0,238 | 0,176 | 0,227 | 0,222 | 0,200 | 0,500 | 0,526 | 0,333 |

Gráfico 4.22. Gráfico p de C14 (Autonomía y responsabilidad)

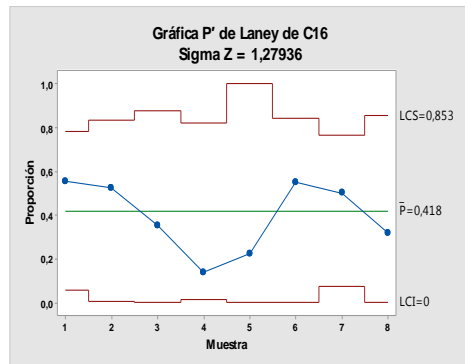
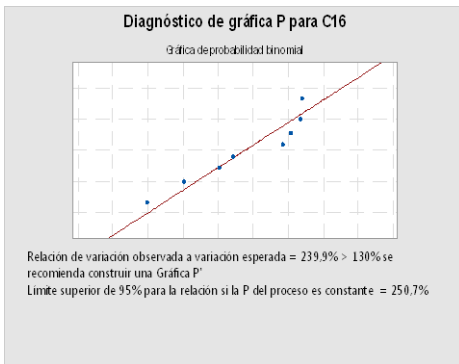
Fuente: elaboración propia



| Grupo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Σ |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| n_i | 27 | 21 | 17 | 22 | 9 | 20 | 30 | 19 | 165 |
| $x_i < 4$ | 15 | 10 | 6 | 8 | 4 | 10 | 19 | 12 | 84 |
| p_i | 0,556 | 0,476 | 0,353 | 0,364 | 0,444 | 0,500 | 0,633 | 0,632 | 0,509 |

Gráfico 4.23. Gráfico p de C15 (Capacidad de aprendizaje)

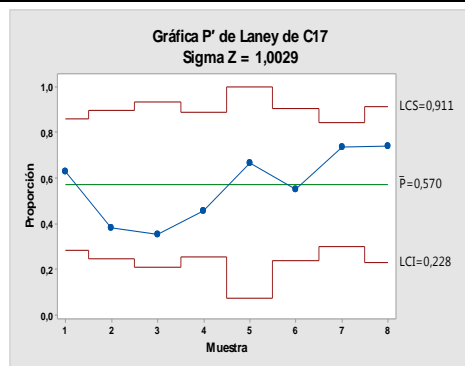
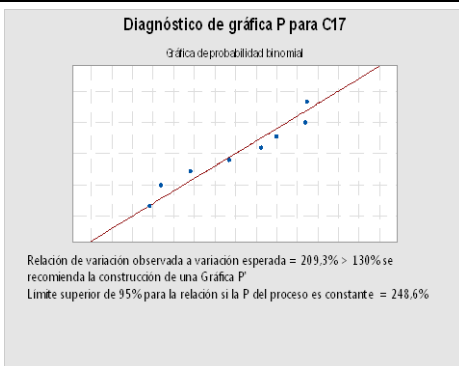
Fuente: elaboración propia



| Grupo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Σ |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| n_i | 27 | 21 | 17 | 22 | 9 | 20 | 30 | 19 | 165 |
| $x_i < 4$ | 15 | 11 | 6 | 3 | 2 | 11 | 15 | 6 | 69 |
| p_i | 0,556 | 0,524 | 0,353 | 0,136 | 0,222 | 0,550 | 0,500 | 0,316 | 0,418 |

Gráfico 4.24. Gráfico p C16 (Estudio de forma continuada)

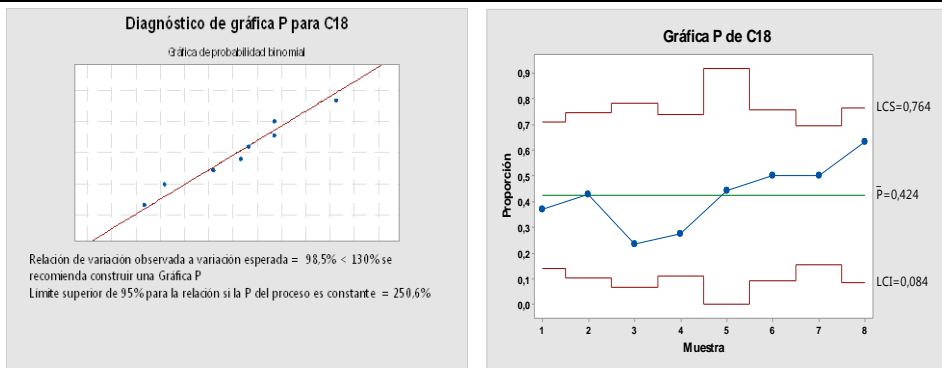
Fuente: elaboración propia



| Grupo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Σ |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| n_i | 27 | 21 | 17 | 22 | 9 | 20 | 30 | 19 | 165 |
| $x_i < 4$ | 17 | 8 | 6 | 10 | 6 | 11 | 22 | 14 | 94 |
| p_i | 0,630 | 0,381 | 0,353 | 0,455 | 0,667 | 0,550 | 0,733 | 0,737 | 0,571 |

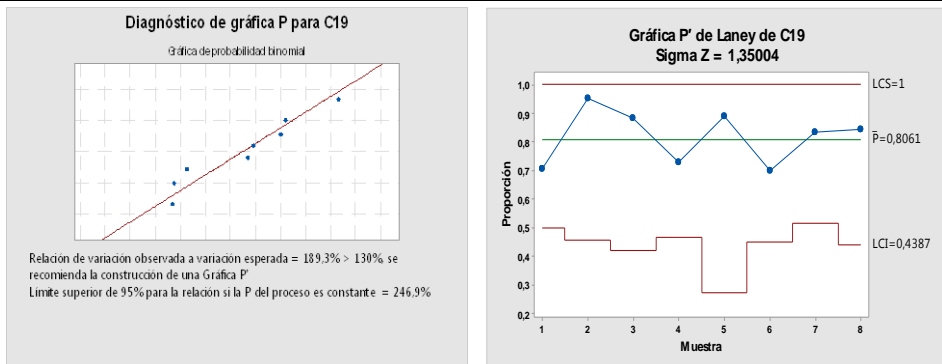
Gráfico 4.25. Gráfico p de C17 (Habilidad de comunicación)

Fuente: elaboración propia



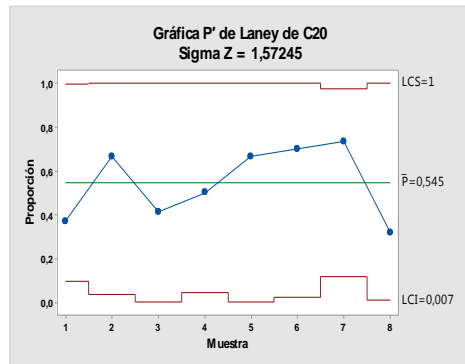
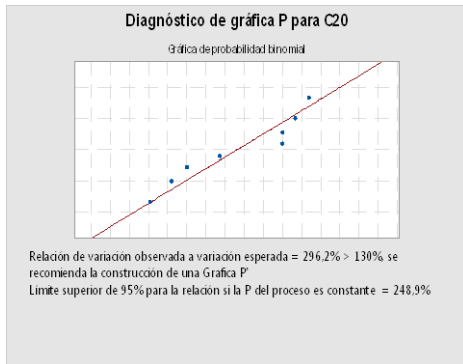
| Grupo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Σ |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| n_i | 27 | 21 | 17 | 22 | 9 | 20 | 30 | 19 | 165 |
| $x_i < 4$ | 10 | 9 | 4 | 6 | 4 | 10 | 15 | 12 | 70 |
| p_i | 0,370 | 0,429 | 0,235 | 0,273 | 0,444 | 0,500 | 0,500 | 0,632 | 0,424 |

Gráfico 4.26. Gráfico p de C18 (Capacidad de análisis y síntesis)
 Fuente: elaboración propia



| Grupo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Σ |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| n_i | 27 | 21 | 17 | 22 | 9 | 20 | 30 | 19 | 165 |
| $x_i < 4$ | 19 | 20 | 15 | 16 | 8 | 14 | 25 | 16 | 133 |
| p_i | 0,704 | 0,952 | 0,882 | 0,727 | 0,889 | 0,700 | 0,833 | 0,842 | 0,808 |

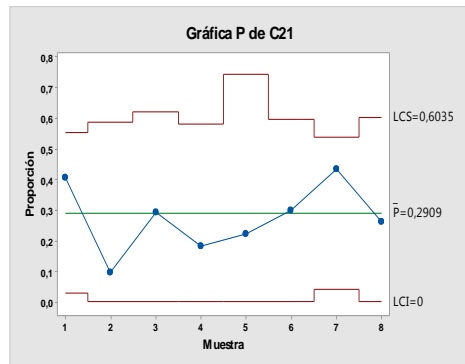
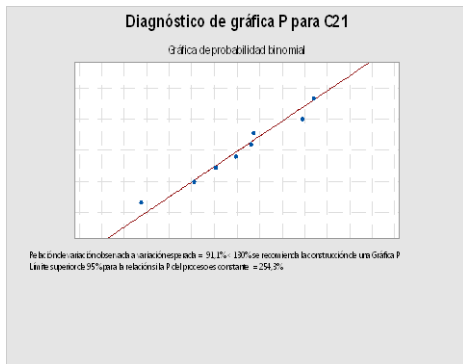
Gráfico 4.27. Gráfico p de C19 (Tecnologías de la información)
 Fuente: elaboración propia



| Grupo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Σ |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| n_i | 27 | 21 | 17 | 22 | 9 | 20 | 30 | 19 | 165 |
| $x_i < 4$ | 10 | 14 | 7 | 11 | 6 | 14 | 22 | 6 | 90 |
| p_i | 0,370 | 0,667 | 0,412 | 0,500 | 0,667 | 0,700 | 0,733 | 0,316 | 0,545 |

Gráfico 4.28. Gráfico p de C20 (Capacidad de crítica y evaluación)

Fuente: elaboración propia



| Grupo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Σ |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| n_i | 27 | 21 | 17 | 22 | 9 | 20 | 30 | 19 | 165 |
| $x_i < 4$ | 11 | 2 | 5 | 4 | 2 | 6 | 13 | 5 | 43 |
| p_i | 0,407 | 0,095 | 0,294 | 0,182 | 0,222 | 0,300 | 0,433 | 0,263 | 0,261 |

Gráfico 4.29. Gráfico p de C21 (Capacidad para detectar problemas)

Fuente: elaboración propia

La representación gráfica de la proporción de alumnos insatisfechos con la estrategia docente evaluada, tanto para la valoración global (C9), como para la valoración de las diferentes competencias representadas por los ítems (C14-C21) verifican que el proceso está bajo control, porque se cumple que:

$$p_i \in p \pm k \frac{\sqrt{p(1-p)}}{n_i} \quad 4.3$$

donde p_i es la proporción de alumnos insatisfechos en cada grupo de clase (d_i/n_i). Como puede observarse en el Gráfico 4.30, la fracción de alumnos insatisfechos por grupos de clases en la mayoría de las competencias de aprendizaje evaluadas está lejos de lo que los docentes involucrados en el proyecto consideran aceptable. En cualquier caso, los resultados que muestran los gráficos son, cuanto menos, contradictorios. Cabría esperarse que, si, en general, los alumnos se encuentran razonablemente satisfechos con el recurso didáctico que estamos evaluando, la fracción de disconformes que mide de forma directa esta característica de calidad, la C9, tendría que tener un índice bajo y, además, este nivel de satisfacción debería estar estrechamente relacionado con la adquisición de competencias de los alumnos medidos por las variables C14-C21. En nuestro caso, si bien la característica que mide de forma directa el nivel de satisfacción general con el recurso didáctico evaluado presenta una fracción de disconformes del 21,8% y, los docentes involucrados en el proyecto docente lo consideran aceptable, este hecho contrasta con las altas fracciones de disconformes que presentan las características de calidad C14-C21 que, en la mayoría de los casos, superan el 41%.

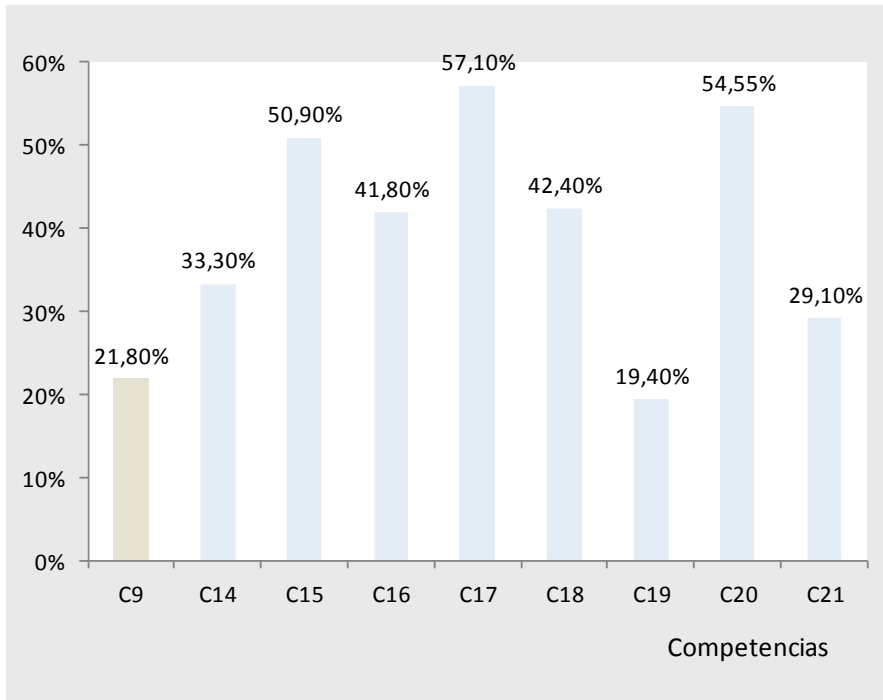


Gráfico 4.30. Fracción de alumnos insatisfechos por tipo de competencias evaluadas
Fuente: elaboración propia

Por lo anteriormente expuesto, consideramos que si bien el proceso se encuentra bajo control estadístico, hecho este contrastado con los análisis multivariado e individual presentados en los apartados anteriores, esto no significa que con el recurso didáctico que estamos evaluando, se hayan alcanzado los objetivos referentes a la consecución de competencias para el que fue diseñado.

4.4.2.3. Análisis de capacidad del proceso

Para finalizar con el estudio del proceso de aprendizaje objeto de análisis a través los gráficos de control estadísticos de procesos, realizamos el estudio correspondiente del análisis de capacidad (ver Apartado 2.2.1). Este mide la aptitud de un proceso para prestar el servicio dentro del intervalo previamente definido. Básicamente, mide la relación entre la amplitud tolerable del proceso (la distancia entre los límites de tolerancia o límites de especificación), y la amplitud

El índice de capacidad resultante del análisis realizado ($C_{pk} < 1$), nos muestra, que a pesar de estar bajo control el proceso, no tiene capacidad suficiente para ofrecer el servicio dentro de las especificaciones. No obstante, hay que precisar, que por las peculiaridades del estudio (fundamentalmente por el tipo de datos utilizados y los supuestos de satisfacción establecidos por los investigadores), y conforme con los resultados obtenidos previamente, sería necesario profundizar en su estudio, que está fuera del objetivo de nuestro trabajo.

De manera similar como se realiza con la medición de capacidad de proceso en variables o datos cuantitativos, también se tiene que hacer para los gráficos de control por atributos, que se encuentran controladas estadísticamente.

Aunque son varias las alternativas propuestas por diferentes autores para medir la capacidad de procesos con datos cualitativos³⁷, para continuar con nuestro análisis seguimos la propuesta por el software estadístico Minitab (ver Figura 4.5), que se hace a partir de la distribución binomial y establece los indicadores Parte Por Millón (PPM) y el nivel sigma del proceso (Z)³⁸ (Schmidt y Lausbyn, 1997).

³⁷ Ver, entre otros, Hsieh y Tong (2006), Kumar et al. (2006), Cuatrecasas (2005), Correa (2003).

³⁸ Según support Minitab: La Z del proceso describe la capacidad de un proceso binario (un proceso en el que los productos se juzgan como defectuosos o no defectuosos).

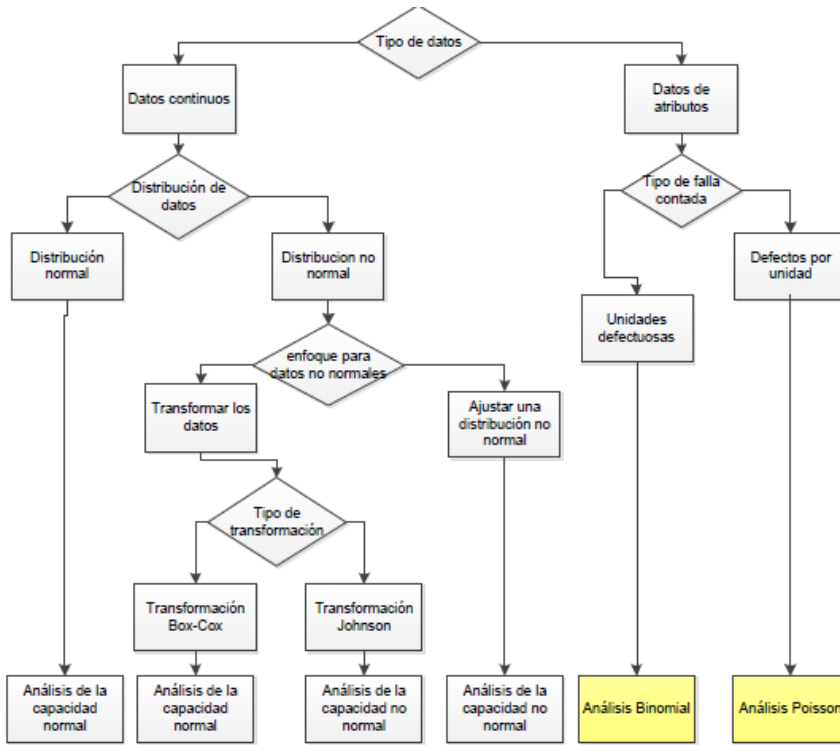
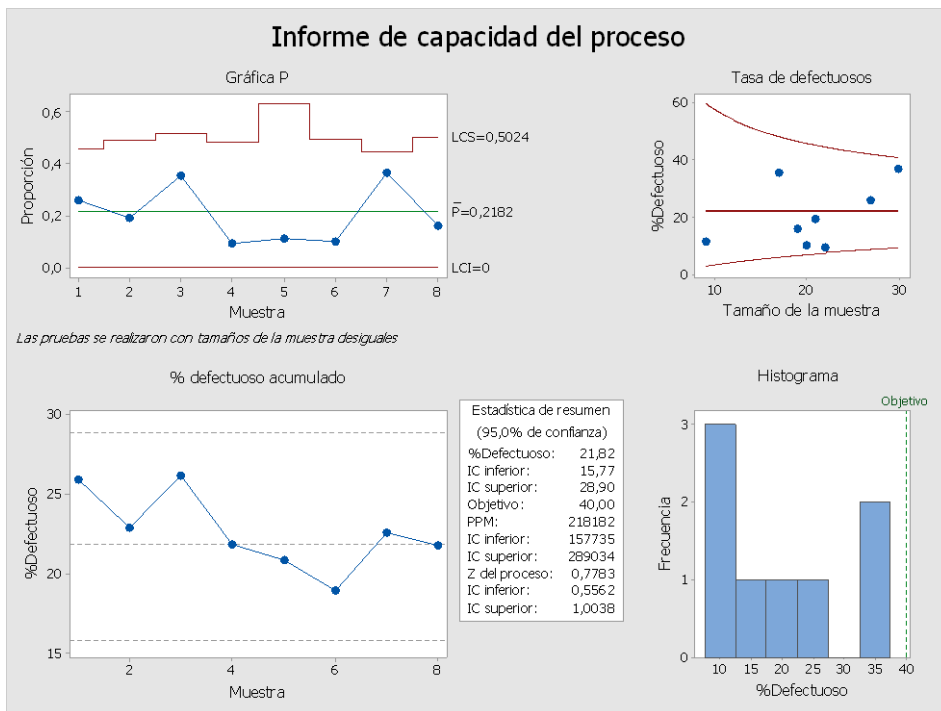


Figura 4.5. Esquema del análisis de capacidad con Minitab
Fuente: Minitab® 17 Statistical Software.

El parámetro sigma (Z) es un parámetro universal y se basa en la probabilidad de ocurrencia de los defectos; viene a remplazar a los índices de capacidad actuales de los procesos de producción C_p y C_{pk} (Correa, 2003). Los resultados se muestran en el Cuadro 4.10, para un objetivo del 40% de alumnos insatisfechos.



Cuadro 4.10. Informe de capacidad del proceso. (Gráfico p)

Fuente: elaboración propia

El informe de capacidad administrado por el software Minitab para un objetivo menos exigente (se admite un proporción de alumnos insatisfechos del 40%) y para un nivel de satisfacción aceptable (valoración por alumnos igual a 4 ó 5), nos muestra un valor del parámetro sigma de 0,7783 (<1). Esto indica que a pesar de estar bajo control, el proceso no es capaz de cumplir totalmente con las especificaciones exigidas por los docentes participantes en el proyecto.

No obstante, para el mismo objetivo de satisfacción (40%), pero para un intervalo de satisfacción más amplio (valoración igual a 3, 4 y 5) el parámetro sigma aumenta, tomando el valor de 1,0830.

4.4.2.4. Propuestas de mejora

Los resultados obtenidos, tanto para el control de variable (análisis multivariado y univariado), como de atributo, ponen de manifiesto que, aunque el proceso de

aprendizaje está bajo control estadístico, el proceso no cumple con las especificaciones respecto al nivel de satisfacción deseada por los docentes implicados en el proyecto. Por tanto, consideramos conveniente, finalizar este trabajo, proponiendo las siguientes acciones de mejora:

- a) Ajustar el plan de organización docente de la asignatura, de tal forma que se mejore la sincronización de los contenidos teóricos y prácticos de la misma.
- b) Establecer mecanismos para fomentar la asistencia de los alumnos a las clases teóricas, ya que se ha detectado que los alumnos que no asisten regularmente a las clases teóricas, presentan carencias importantes a la hora de seguir las indicaciones para llevar a buen término los ejercicios planteados en las guías, y de ahí que algunos de ellos no valoren de manera positiva el uso del recurso didáctico.
- c) Diseñar y promover actividades previas a las prácticas, para asentar los conocimientos necesarios y, de esta forma, poder sacar provecho suficiente de las guías, estableciendo pruebas parciales de tal forma que el alumno se vea obligado a estudiar la asignatura de forma regular. En la misma línea que la anterior, un aspecto importante a considerar, y que en muchas ocasiones escapa al control del profesor, es la falta de costumbre que tienen los alumnos a estudiar de forma continua a lo largo del curso y, acumular una gran cantidad de trabajo para estudiar el examen final. Una de las implicaciones de este hecho con respecto a la estrategia que estamos evaluando es, que en muchas ocasiones, el alumno no ha estudiado los conceptos previos necesarios para llevar a cabo la práctica desarrollada en la guía docente y, les resulta complicado comprender las explicaciones más avanzadas desarrolladas en las guías.
- d) Concienciar al alumno, que en el marco EEES bajo el cual estamos trabajando, se pretende la transformación del alumno como protagonista principal de su proceso de aprendizaje, y que la función del profesor es proporcionar la metodología y la información necesaria. Ello permitiría vencer la inercia por parte del alumno, a reproducir los sistemas de aprendizaje en los cuales siempre ha adoptado una actitud pasiva. De igual manera, los docentes han de ser conscientes que, las estrategias docentes como las que estamos evaluando, constituyen los primeros

pasos de un proceso complejo cuyos resultados se verán a largo plazo.

- e) Trasladar a los grupos de teoría métodos y técnicas para aumentar la participación activa del alumno en los procesos de aprendizaje de tal forma que, este tipo de estrategias no sea una experiencia aislada, sino que se conviertan en la forma habitual de enfocar los procesos de enseñanza-aprendizaje.
- f) Rediseñar la composición y el tamaño de los grupos en los que se imparten las prácticas de tal forma que éstos sean más homogéneos.
- g) Establecer alternativas para los grupos de repetidores en el sentido que para éstos las prácticas no sean obligatorias.

El desarrollo de las anteriores propuestas requiere la participación de todos los agentes implicados en el desarrollo de los procesos de aprendizaje en el contexto universitario descrito y analizado en este trabajo. Solo así se podrá avanzar a modelos de enseñanza bajo el enfoque de mejora continua de la calidad, que ha sido utilizado a los largo de este trabajo de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfalla-Luque, R., Medina-López, C. y Arenas-Márquez, F.J. (2011). Mejorando la formación en Dirección de Operaciones: la visión del estudiante y su respuesta ante diferentes metodologías docentes. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 14, 40-52.

Álvarez, I y Guasch, T. (2006). Diseño de Estrategias Interactivas para la Construcción de Conocimiento Profesional en Entornos Virtuales de Enseñanza y Aprendizaje. *RED. Revista de Educación a Distancia*, (14). <http://www.um.es/ead/red/14/>.

Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA) (2005). Libro Blanco Título de Grado en Economía y Empresa. Madrid: ANECA.

Arbaugh, J.B. y Duray, R. (2002). Technological and structural characteristics, student learning and satisfaction with web-based courses an exploratory study of two on-line MBA programs. *Management learning*, 33 (3), 331-347.

Arbaugh, J.B. y Rau, B.L. (2007). A study of disciplinary, structural, and behavioral effects on course outcomes in online MBA courses. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 5 (1), 65-95.

Area, M. (2007). Algunos principios para el desarrollo de “buenas prácticas” pedagógicas con las TIC en el aula. *Comunicación y Pedagogía*, 222, 42-47.

Barberá, E. (2004). *La educación en la red: actividades virtuales de enseñanza y aprendizaje*. Paidós.

Bates, A.W. (2000). *Managing Technological Change. Strategies for College and University Leaders*, Jossey-Bass, San Francisco, CA.

Bikfalvi, A., Llach, J., Kantola, J., Marques, P., y Mancebo, N. (2007). Complementing education with competence development: An ICT-based application. *International Journal of Management in Education*, 1 (3), 231-250.

Bures, E., Abrami, P. y Amundsen, C. (2000). Student motivation to learn via computer conferencing. *Research in Higher Education*, 41 (5), 593-621.

Chafer, E. (2009). Una introducción a los sistemas de respuesta interactiva. *Electrónica y Comunicaciones. Monográfico TICs en las aulas. Elementos Didácticos para la Enseñanza*, 242, 56-57.

Cohen, P. A. (1980). Effectiveness of student-rating feedback for improving college instruction: A meta-analysis of findings. *Research in Higher Education*, 13 (4), 321-341.

Coll, C. (Ed.). (2008). *Psicología de la educación virtual: aprender y enseñar con las tecnologías de la información y la comunicación*. Ediciones Morata.

Coll, C. y Martí, E. (2001). La Educación Escolar ante las Nuevas Tecnologías de la Información y de la Comunicación. En *Desarrollo Psicológico y educación*, editado por Coll, C., Palacios, J. y Marchesi, A. España: Alianza.

Coll, C., Mauri, T. y Onrubia, J. (2008). La utilización de las tecnologías de la información y la comunicación en la educación: Del diseño tecno-pedagógico a las prácticas de uso. *Psicología de la Educación Virtual*, 74-103.

Correa, N. (2003). 6 Sigma Nuevo paradigma para medir la calidad. *Mundo Mitutoyo*, 5-8.

Cronje, J. (1995). Multimedia-Shaping the future of education. Multimedia Conference of AIC Conferences. Sud-àfrica, 30 d'agost.

Cuatrecasas, L. (2005). *Gestión Integral de la Calidad Implantación, Control y Certificación*. España: Ediciones Gestión 2000.

Díaz-Barriga, F.D., López, E., Heredia, A. y Rodríguez, Y. (2013). Una experiencia innovadora con estudiantes universitarios: la construcción colaborativa de monografías digitales en línea. *Perspectiva Educativa*, 52 (2), 35-59.

Dodge, B. (2010). What is a WebQuest? Disponible a: <http://webquest.org>

Douglas, M. (1991). Introducción al Control Estadístico de la Calidad. *Editorial Iberoamericana*.

Duncan, A. (1986). *Quality Control and Industrial Statistics*, 5th^{edn} Homewood, IL: Irwin.

Dunteman, G. H. (1989). *Principal components analysis* (69). Sage .

EduClick, sistema de docencia presencial basado en mandos electrónicos de respuesta. Disponible: <http://www.educlick.es/>. Fecha último acceso: mayo 2014.

Felder, R., Felder, G. y Dietz, E. (1998). A longitudinal study of engineering student performance and retention. V. comparisons with traditionally-taught students. *Journal of Engineering Education*, 87 (4), 469-480.

Fernández, A. (2003). Formación pedagógica y desarrollo profesional de los profesores de universidad: análisis de las diferentes estrategias. *Revista de Educación*, 331, 171-199.

Friday, E., Friday-Stroud, S.S., Green, A.L. y Hill, A.Y. (2006). A multi-semester comparison of student performance between multiple traditional and online sections of two management courses. *Journal of Behavioral and Applied Management*, 8 (1), 66-81.

Galbraith, C.S., Merrill, G.B. y Kline, D.M. (2012). Are student evaluations of teaching effectiveness valid for measuring student learning outcomes in business related classes? A neural network and Bayesian analyses. *Research in Higher Education*, 53 (3), 353-374.

García del Dujo, A. y Suárez, C. (2011). Interacción virtual y aprendizaje cooperativo. Un estudio cualitativo. *Revista de Educación*, 354, 473-498.

George-Walker, L. y Keeffe, M. (2010). Self-determined blended learning: a case study of blended learning design. *Higher Education Research & Development*, 29 (1), 1-13.

Gessa, A., García, S., Rabadán, I., Jiménez, A. y Sancha, P. (2011). Resolución guiada de prácticas de Dirección de Operaciones. Desarrollo y evaluación de competencias, II Congreso Internacional de Docencia Universitaria, Universidad de Vigo.

Greasley, A., Bennett, D. y Greasley, K. (2004). A virtual learning environment for operations management: Assessing the student's perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, 24 (10), 974-993.

Gros, B. y Kirschner, P. (2006). La recerca sobre la docència a la universitat: l'ús d'entorns electrònics en l'educació superior. *Quaderns de Docència Universitària*, 7. ICE Universitat de Barcelona.

Gros, B., Lara, P., García, Y., Mas, X., López, J., Maniega, D. y Martínez, T. (2009). *El modelo educativo de la UOC. Evolución y perspectivas*, Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona.

Guitart, L., Miravittles, P., Núñez, A., Bernardo, M., Achcaoucaou, F., Castán, J.M.; Valls, J. y López, J. (2011). Protocol per a la implantació d'eines didàctiques virtuals: competències i habilitats adquirides pels estudiants [En línia] REIRE, *Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 4(2), 59-81. Disponible en:<http://www.raco.cat/index.php/REIRE>

Guitart, L., Núñez, A., Miravittles, P., Bernardo, M., Cruz, C., y Achcaoucaou, F. (2014). Students competences in Business Administration subjects. *International Journal on Advances in Education Research*, 1 (2), 1-20.

Hannan, A. y Silver, H. (2005). La innovación en la enseñanza superior enseñanza, aprendizaje y culturas institucionales. Madrid: Nancea.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista Lucio, P. (2003). *Metodología de la investigación* (3a ed.). México: McGraw-Hill.

Herrington, J. y Oliver, R. (1997). Multimedia, magic and the way students respond to a situated learning environment. *Australian Journal of Educational Technology*, 13 (2), 127-143.

Honebein, P. (1996). Seven goals for the design of constructivist learning environments, en Brent G. Wilson (ed.), *Constructivist Learning Environments: Case Studies in Instructional Design*. Englewood Cliffs: Educational Technology Publications, 11-24.

Hsieh, K.L. y Tong, L.I. (2006). Incorporating process capability index and quality loss function into analyzing the process capability for qualitative data. *Advanced Manufacturing Technology*, 1217-1222.

Hwang, A. y Arbaugh, J.B. (2009). Seeking feedback in blended learning: competitive versus cooperative student attitudes and their links to learning outcome. *Journal of Computer Assisted Learning*, 25 (3), 280-293.

Judson, E. (2002). Learning from past and present: Electronic response systems in college lecture halls. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 21(2), 167-181.

Kirkwood, A. (2009). E-learning: "you don't always get what you hope for". *Technology, Pedagogy and Education*, 18 (2), 107-121.

Klein, H.J., Noe, R.A. y Wang, C. (2006), Motivation to learn and course outcomes: the impact of delivery mode, learning goal orientation, and perceived barriers and enablers, *Personnel Psychology*, 59 (3), 665-702.

Kocherlakota, N. R. (1992). Bubbles and constraints on debt accumulation. *Journal of Economic Theory*, 57 (1), 245-256.

Kumar, U.D., Crocker, J. y Chitra, T. (2006). *Reliability and Six Sigma*. United States of America: Springer.

Levy, Y. (2007). Comparing dropouts and persistence in e-learning courses». *Computers & Education*, 48 (2), 185-204.

Löfström, E. y Nevgi, A. (2007). From strategic planning to meaningful learning: diverse perspectives on the development of web-based teaching and learning in higher education. *British Journal of Educational Technology*, 38 (2), 312-324.

Ma, L., Vogel, D. y Wagner, C. (2000). Will virtual education initiatives succeed?. *Information Technology and Management*, 1 (4), 209-227.

Makatsoris, C. (2009). An information and communication technologies-based framework for enhancing project management education through competence assessment and development. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 19 (6), 544-567.

Maldonado, L., Díaz, W., León, I., Monroy, B. y Rueda, R. (1995). Creación de hipertextos educativos. *Nuevas Tecnologías aplicadas a la Educación Superior*. Bogotá: ICFES and Pontificia Universidad Javeriana, vol. 5.

Marcelo, C. y Lavié, J. (2000). Formación y Nuevas Tecnologías: Posibilidades y condiciones de la teleformación como espacio de aprendizaje. *Bordón. Revista de Pedagogía*, 52 (3), 385-406.

Marsh, H.W. (1991). A multidimensional perspective on students' evaluations of teaching effectiveness: Reply to Abrami and D'Apollonia. *Journal of Educational Psychology*, 83 (3), 416-421.

Marsh, H.W. y Roche, L. (1993). The use of students' evaluations and an individually structured intervention to enhance university teaching effectiveness. *American Educational Research Journal*, 30 (1), 217-251.

Martínez, F. (2002) *El cuestionario. Un instrumento para la investigación en las ciencias sociales*. Barcelona: Laertes Psicopedagogía.

Martínez, F. y Prendes, M.P. (2006). Actividades individuales versus actividades colaborativas. En Cabero, J. y Román, P. (Eds.), *E-actividades. Un referente para la formación en Internet (183-202)*. Sevilla: MAD.

Mason, R. L. y Young, J. C. (2002). *Multivariate statistical process control with industrial applications*, 9. Siam.

Mauri, T., Colomina, R., Martínez, C. y Rieradevall, M. (2009). La adquisición de las competencias de autorregulación. Análisis de su concepción y aprendizaje en diferentes estudios universitarios. *Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 2 (2), 33-60.

McCray, G.E. (2000). The hybrid course: Merging on-line instruction and the traditional classroom. *Information Technology and Management*, 1 (4), 307-327.

McLaren, C.H. (2004). A comparison of student persistence and performance in online and classroom business statistics experiences. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 2 (1), 1-10.

Mendoza, P. y Galpis, A. (1999). Ambientes virtuales de aprendizaje: una metodología para su creación. *Informática Educativa*, 12 (2), 295-317.

Merrill, G.B. y Galbraith, C.S. (2009). Learning outcomes and instructional delivery method in professional and business related courses: an empirical study controlling for course and instructor differences. *Journal of Business and Behavioral Sciences*, 21 (2), 18-38.

Minitab® 17 Statistical Software.

Monereo, C. y Pozo, J.L. (2003). *La universidad ante la nueva cultura educativa. Enseñar y aprender para la autonomía*. Barcelona: Editorial Síntesis.

Montgomery, D.C. (2001). Introduction to statistical process control. *John Wiley & Sons, New York, NY*.

Müller, G. (2003). Estudios de Necesidades. *Revista Tópica Extensa. Vicerrectorado de Extensión. Universidad Pedagógica Experimental Libertador*, 3 (1).

Murphy, B. J. (1987). Selecting Out of Control Variables With the T^2 Multivariate Quality Control Procedure. *The Statistician*, 571-581.

Nunnally, J. (1978). *Psychometric methods*. New York: McGraw-Hill.

Parker, A. (1997). A Distance Education How-To Manual: Recommendations From the Field. *Educational Technology Review*, 8, 7-10.

Peralta, A. y Díaz-Barriga, F. (2011). Diseño de e-actividades: Construcción de un caso para el diagnóstico de trastornos de sueño. En Díaz-Barriga, F., Hernández, G. y Rigo, M.A. (Eds.), *Experiencias educativas con recursos digitales: Prácticas de uso y diseño tecnopedagógico* (237-258). México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Pérez i Gracías, A. (2002). Elementos para el análisis de la interacción educativa en los nuevos entornos de aprendizaje. *Píxel Bit Revista de Medios y Educación*, 19; 49-61.

Piccoli, G., Ahmad, R. y Ives, B. (2000). Knowledge management in academia: A proposed framework. *Information Technology and management*, 1 (4), 229-245.

Piña-Monarez, M.R. (2013). Practical Decomposition method for T^2 Hotelling Chart. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, 20 (5-6).

Quintana, J. y Higuera, E. (2007). Les Webquests, una metodologia d'aprenentatge cooperatiu, basada en l'accés, el maneig i l'ús d'informació de la Xarxa. *Quaderns de Docència Universitària*, 11. ICE Universitat de Barcelona.

Ragueras, L., Verdú, E., Muñoz, M., Pérez, M., Castro, J. y Verdú, M. (2009). Effects of competitive e-learning Tools on higher education students: a case study. *IEEE Transactions on Education*, 52 (2), 279-285.

Resolución de 3 de marzo de 2011, de la Universidad de Huelva, por la que se publica el plan de estudios de Graduado en Administración y Dirección de Empresas (BOE nº 105, Martes 3 de mayo de 2011).

Rodríguez, M. (coord.) (2008). *Dels estudis universitaris al món del treball*. Barcelona: Publicacions i Edicions UB.

Rojas, T.A.J., Fernández, P.J.S. y Pérez, M.C. (1998). *Investigar mediante encuestas: Fundamentos teóricos y aspectos prácticos*. Madrid: Editorial Síntesis

Ruiz-Jiménez, A., Ceballos-Hernández, C., García-Gragera, J.A. y Chávez Miranda, M.E. (2010), "Una experiencia de evaluación continua en un entorno masificado", en Jiménez- Caballero, J.L. y Rodríguez Díaz, A. (Eds), *Nuevas enseñanzas de grado en la Escuela Universitaria de Estudios Empresariales de la Universidad de Sevilla*, Grupo Editorial, Sevilla, 279-94.

Schmidt, S.R. y Launsby, R.G. (1997). *Understanding industrial designed experiments*. Estados Unidos: Air Academy Press.

Selwyn, N. (2007). The use of computer technology in university teaching and learning: a critical perspective. *Journal of computer assisted learning*, 23 (2), 83-94.

Stensaker, B., Maassen, P., Borgan, M., Oftebro, M. y Karseth, B. (2007). Use, updating and integration of ICT in higher education: Linking purpose, people and pedagogy. *Higher education*, 54 (3), 417-433.

Stensaker, B., Maassen, P., Borgan, M., Oftebro, M. y Karseth, B. (2007). Use, updating and integration of ICT in higher education: Linking purpose, people and pedagogy. *Higher education*, 54 (3), 417-433.

Surroca, N.V., Baiges, E.B. y Òscar, F.A. (2015). Percepción de las competencias TIC en los estudiantes de nuevo ingreso en la Universidad de Lleida. *Revista del Congrés Internacional de Docència Universitària i Innovació (CIDUI)*, (2).

Tang, T.L.P. y Austin, M.J. (2009). Students' perceptions of teaching technologies, application of technologies, and academic performance. *Computers & Education*, 53 (4), 1241-1255.

Timmerman, B. y Lingard, R. (2003). Assessment of active learning with upper division computer science students. *FIE 33rd Annual Frontiers in Education (FIE'03)*, 3, S1D-12.

Tuning Educational Structures in Europe II (2005). Final Report. Pilot Project - Phase2. Disponible en:
http://www.tuning.unideusto.org/tuningeu/index.php?option=com_docman&Itemid=59&task=view_category&catid=19&order=dmdate_published&ascdesc=DESC.

Van Praag, B.M. y Ferrer-i-Carbonell, A. (2004). *Happiness quantified: A satisfaction calculus approach*. Oxford University Press.

Wang, Q. (2008). A generic model for guiding the integration of ICT into teaching and learning. *Innovations in Education and Teaching International*, 45 (4), 411-419.

Webb, H.W., Gill, G. y Poe, G. (2005). Teaching with the case method online: Pure versus hybrid approaches. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 3 (2), 223-250.

Wild, R.H. y Griggs, K.A. (2002). Collaborative telelearning: An experiment in remote project management. *E-Service Journal*, 1 (2), 25-39.

Zimmerman, B. (2000). *Attainment of self-regulation. A social cognitive perspective* en Boekaerts, A. M. Pintrich, P. R. y Zeidner, M. (ed.). *Handbook of self-regulation*. San Diego, CA: Academic Press.

Capítulo 5

Conclusiones generales e
implicaciones de la investigación

Conclusiones generales e implicaciones de la investigación

Hasta aquí nuestra propuesta de una aplicación práctica del Control Estadístico de Procesos para la evaluación de estrategias docentes en el contexto universitario y la exposición del estado de la cuestión y los fundamentos teóricos necesarios para su aplicación.

Abordamos este último capítulo exponiendo las principales conclusiones de nuestro trabajo de investigación, relacionándolas con el propósito general, los objetivos y los subobjetivos de la investigación planteados en el Capítulo 1 de esta tesis y, cuando sea oportuno, resaltar aspectos que han surgido como consecuencia del trabajo realizado y que no se correspondan con los objetivos y subobjetivos planteados inicialmente.

Una vez expuestas las referidas conclusiones, completamos esta última parte del trabajo con las principales aportaciones que creemos haber conseguido con la realización de esta tesis doctoral, las limitaciones que como en cualquier trabajo de este tipo existen y, finalmente, las futuras líneas de investigación, que consideramos puedan resultar de interés para seguir avanzando en este campo de investigación.

5.1. PRINCIPALES CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Creemos que el trabajo realizado en esta investigación nos ha permitido dar respuesta a los tres objetivos principales que nos planteamos al inicio de la misma, con el propósito general de aplicar el Control Estadístico de Procesos (CEP) para evaluar estrategias docentes y así, controlar y mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje y garantizar el cumplimiento de los objetivos de aprendizaje de una enseñanza basada en las competencias, que demanda el actual contexto educativo de estudios universitarios.

Aunque son muchas las conclusiones que han sido puestas de relieve a lo largo del trabajo, como es procedente, a continuación, exponemos, de forma genérica, los logros alcanzados, y para no ser reiterativos, remitimos a los apartados y capítulos correspondientes para un estudio en profundidad de los aspectos aquí tratados.

A continuación, teniendo en cuenta el propósito general de nuestra investigación, se exponen las principales conclusiones con relación a cada uno de los objetivos fijados, de forma que se pueda juzgar claramente el grado de consecución.

Objetivo 1. Desarrollar el marco general teórico del CEP que sustente el desarrollo del trabajo empírico de la investigación

El estudio realizado en el Capítulo 2 y algunas consideraciones adicionales incluidas en el Capítulo 4, nos ha permitido la consecución de este objetivo, cuyos resultados presentamos a continuación, agrupándolos, según el subobjetivo correspondiente.

Subobjetivo 1.1.

Determinar, desde el punto de vista teórico, el marco conceptual general y necesario para la comprensión y aplicación correcta de las técnicas de CEP.

El análisis pormenorizado realizado en el Capítulo 2 de los gráficos de control estadístico, nos ha permitido alcanzar el primero de los subobjetivos de este

trabajo. Fruto de dicho análisis se han obtenido los siguientes resultados o conclusiones:

- Son muchas las técnicas y herramientas que han sido desarrolladas e implementadas en las organizaciones para el desarrollo de procesos de mejora, entra las que se incluyen los gráficos de control estadístico. Su uso se recomienda para detectar la variación sistémica generada en un proceso de producción o en la prestación de un servicio, con el objetivo de poder ser identificada y corregida antes de que ésta produzca una gran cantidad de productos o servicios defectuosos.
- El gráfico proporciona información sobre los parámetros básicos del proceso, su estabilidad a lo largo del tiempo y la capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones.
- Desde que en 1920 Shewhart estableciera las bases para el control de procesos, los gráficos de control han sido utilizados con éxito en una amplia variedad de situaciones de control de procesos. Nuevas aportaciones y propuestas se han realizado en este campo de estudio para extender su uso y sus aplicaciones en diferentes entornos de producción y de servicios.
- Y por último, aunque a primera vista, la selección y aplicación de los gráficos de control estadístico puede parecer una tarea fácil, sin embargo, como se ha puesto de manifiesto en el Apartado 2.2.2, su aplicación requiere de un proceso riguroso y exhaustivo para garantizar la validez de los resultados obtenidos.

Subobjetivo 1.2.

Definir el proceso de diseño y aplicación de las técnicas de control de calidad, identificando todos los elementos que lo condicionan.

Al desarrollo de este subobjetivo dedicamos el Apartado 2.2.2 del trabajo, donde abordamos los aspectos y etapas relacionados con el proceso de diseño y construcción de los gráficos de control. De su estudio destacamos que:

- Aunque el objetivo último de la aplicación del CEP es reducir la variación

no aleatoria del proceso y conseguir un estado bajo control estadístico, el fin para el que se implementa puede ser diferente: monitorizar un proceso, planificar o hacer un seguimiento de planes, evaluar la satisfacción del cliente y realizar estimaciones (ver Apartado 2.2.2).

- Para garantizar la validez de la técnica y la consecución de los objetivos fijados, es imprescindible tener en cuenta diferentes aspectos a la hora de aplicar los gráficos de control. Entre ellos, se incluye:
 - La característica de la calidad del producto, servicio o proceso que se van a controlar.
 - El plan de muestreo (tamaño de la muestra y frecuencia del muestreo).
 - Los datos que constituyen la base para el análisis, deben ser recopilados de manera cuidadosa y sistemática.
 - Los límites de control (superior e inferior) que delimitan el intervalo de variación aleatoria del proceso.
- El desarrollo de las tecnologías informáticas ha favorecido el uso y aplicación de los gráficos de control, de forma rápida y a bajo coste. Su uso ha permitido la implantación de los gráficos de control, en una amplia variedad de procesos.
- Desde el punto de vista del control y mejora del proceso, no basta con saber construir los gráficos de control, es necesario saber interpretarlos, con el fin de averiguar lo que le está sucediendo al proceso en el transcurso del tiempo: causas de variación especiales, sesgos, tendencias, patrones, etc.

Si no se definen bien los datos necesarios y las características del proceso que deben ser controladas, la interpretación será errónea.

Subobjetivo 1.3.

Identificar las diferentes opciones de representación gráfica de la variabilidad de los procesos, así como el desarrollo analítico necesario para su aplicación.

La clasificación de los diferentes gráficos de control propuesta en el Apartado 2.3 de este trabajo, nos ha permitido destacar que:

- Aunque hay dos grandes grupos de gráficos de control de calidad, dependiendo de la característica que se quiera controlar (variable o atributo), existe una amplia variedad de gráficos de control estadístico de procesos, cuya utilidad está siendo estudiada cada vez más por sus innegables ventajas. Además, existen muchas variantes de los modelos de gráficos originales que se adaptan a cualquier situación requerida.
- La aplicación de un determinado gráfico de control estadístico de procesos dependerá, además de la característica de la calidad a controlar (variable o atributo), de aspectos tales como del número de variables, el número y tamaño de la muestra, el tipo de proceso, el tipo y medición de datos, etc.
- El control de atributos presenta ciertas ventajas respecto al control por variable (operativa más sencilla, permite resumir las características de varias variables, etc.) (ver Apartado 2.3.2). No obstante, el mayor potencial del control por variable es indiscutible, tanto por el amplio abanico de posibilidades de control de procesos en el que pueden ser aplicados, como por la utilidad de la información que facilita el estudio para una toma de decisión, bajo un enfoque de mejora continua.
- Aunque la base de la formulación analítica de los gráficos de control de calidad no es demasiada compleja, sin embargo los requisitos de aplicabilidad de algunos tipos de gráficos de control (supuestos estadísticos de partida, tipo de datos, medición de las variables etc.) dificultan su utilización en determinados escenarios de producción o prestación de servicios.

Subobjetivo 1.4.

Determinar en qué casos y bajo qué condiciones, es más o menos eficiente la aplicación de los diferentes tipos de gráficos de control de calidad.

El estudio realizado en el Apartado 2.3 nos ha permitido alcanzar este subobjetivo.

A continuación se exponen las principales conclusiones de este apartado:

- El CEP, como cualquier técnica estadística, tiene sus limitaciones para aplicarse en diferentes escenarios de producción o prestación de servicios.
- El cumplimiento de diferentes supuestos estadísticos de partida de los datos del estudio es un aspecto clave para una correcta selección y aplicación de los gráficos de control. De lo contrario, los resultados proporcionan información incorrecta e incompleta del proceso objeto de análisis.
- Sin embargo, el incumplimiento de los supuestos de normalidad e independencia de los gráficos clásicos de control (gráficos Shewhart) restan efectividad a aquellos, generando la aparición de falsas alarmas. No obstante, este hecho, no es motivo de rechazo de esta técnica estadística. El avance en este ámbito de estudio ha permitido aplicar los gráficos de control bajo supuestos diferentes a los considerados en los gráficos originales, mediante la aplicación de gráficos específicos o el tratamiento de los datos originales, que permiten la aplicación de los gráficos convencionales. En el Capítulo 2 se presentan procedimientos específicos para el caso de no validarse uno o algunos de dichos supuestos.
- La variedad de gráficos de control de calidad existente ha permitido su aplicación con fines diferentes y en distintos entornos de producción y de prestación de servicios.

En línea general, el uso de los gráficos de control de variable se recomienda cuando se dispone de datos cuantitativos de la característica de la calidad, se requiere un estudio con mayor precisión, en entornos de producción más complejo, etc.

Y los gráficos de control de atributos, se recomienda, entre otras, cuando la calidad del producto se mide en términos de conforme/no conforme, cuando no se pueden obtener datos cuantitativos, como estudio preliminar para la aplicación del control por variables y también para facilitar a la dirección una visión con un resumen informativo sobre la eficacia del proceso.

De manera específica, para casos especiales (presencia de correlación, observaciones individuales, memoria, etc) es más aconsejable aplicar otras alternativas a los gráficos originales de control de calidad (gráficos Shewhart). En los Apartados 2.3.1 y 2.3.3 se detallan algunas de las posibles opciones existentes.

Objetivo 2. Determinar el estado de la cuestión de la aplicación del CEP en contextos educativos, y especialmente en el ámbito universitario.

La revisión bibliográfica realizada en el Capítulo 3 de la Tesis, nos ha permitido alcanzar el segundo de los objetivos de este trabajo, cuyas principales conclusiones presentamos a continuación, agrupándolas, según el subobjetivo correspondiente.

Subobjetivo 2.1.

Contextualizar la aplicación del CEP en el ámbito educativo, para poder identificar posibilidades y limitaciones.

En relación con este subobjetivo, destacamos los siguientes resultados:

- Aunque no cabe duda que existe un interés creciente en el sector educativo por implantar modelos de calidad, basado en la innovación y la mejora continua, hemos detectado, con la revisión realizada, después de la búsqueda sistemática y su posterior depuración referida en el Apartado 3.3.4, una escasa aplicación de las técnicas de gestión y control de calidad, en general, y de los gráficos de control estadístico en particular.
- A pesar de que el número de trabajos revisados no es significativo, queda patente la viabilidad de la aplicación de estas técnicas en instituciones educativas, como en cualquier otro tipo de organización (industrial o de servicio). Los gráficos de CEP constituyen una herramienta adecuada para el control y mejora de procesos educativos y otros servicios ofrecidos por dichas instituciones.

- Como en el resto de las aplicaciones de las técnicas estadísticas de control en el sector servicios, las limitaciones de su aplicación en el ámbito educativo se deben principalmente a las propias características del sector y a la operativa de la metodología utilizada en el análisis (cumplimiento de determinados requisitos estadísticos relativos a la muestra, distribución de los datos, etc.), que ya se han puesto de manifiesto en las conclusiones anteriores. Asimismo, tal como se desprende de los resultados del Apartado 3.4.4, la falta de conocimiento del potencial o aplicabilidad de estas técnicas en el ámbito educativo y la posible percepción negativa de la herramienta por parte de los sujetos implicados en los procesos y servicios educativos, se plantean como otras limitaciones para la aplicación en dicho sector.

Subobjetivo 2.2.

Conocer el grado de expansión y la evolución de la investigación desarrollada en el campo objeto de estudio.

Fruto del análisis desarrollado, se han obtenido los siguientes resultados o conclusiones relacionadas con el nivel de madurez de este tipo de investigación:

- Los resultados obtenidos en relación a la publicación de los estudios analizados (ver Apartado 3.4.1) reflejan que, a pesar del carácter multidisciplinar que contempla el ámbito de estudio de nuestra revisión, la gran mayoría de publicaciones se encuentra indexada en revistas de educación.

Asimismo, se aprecia que las publicaciones que tratan la aplicación del CEP en el ámbito educativo, se concentra principalmente en los últimos años del periodo investigado (2010-2015), poniéndose de manifiesto el creciente interés de la comunidad científica y educativa en este ámbito de investigación en los últimos años.

- En relación a la contextualización de los estudios de la revisión

bibliográfica presentada en el Apartado 3.4.2 de este trabajo, resaltamos las siguientes conclusiones:

- Se aprecian diferencias significativas en los distintos niveles educativos, destacando las instituciones universitarias, por el mayor número de aplicaciones. Fuera de éste ámbito, su aplicación puede considerarse marginal, aunque con igual potencial de desarrollo. En este último caso, se incluyen, entre otras opciones de aplicación de los gráficos de control estadístico, la evaluación de procesos a gran escala de acreditación de habilidades de idiomas u otras destrezas o en las pruebas de diagnóstico escolar en otros niveles de enseñanza (primaria y secundaria).
- Igualmente, debemos resaltar el alto porcentaje de trabajos llevados a cabo con datos procedentes de áreas de conocimiento que incluimos dentro de la disciplina “Economía y Empresa” (dirección de operaciones, finanzas, marketing, etc.) (ver Tabla 3.4). Una posible causa de esta concentración puede atribuirse a un mejor conocimiento de las técnicas por parte de los promotores de las investigaciones en el ámbito educativo, como consecuencia de su propia formación y actividad docente desarrollada.
- Si bien ya ha quedado de manifiesto que el ámbito educativo no puede considerarse un campo clásico de aplicación de la técnica del CEP, la gran mayoría de los trabajos incluidos en la revisión bibliográfica tienen como objetivo controlar la variabilidad del proceso, que constituye el propósito más extendido en la mayoría de aplicaciones convencionales. Por tanto, consideramos que las aplicaciones del CEP para evaluar la satisfacción de los grupos de interés con respecto a los servicios educativos, tiene un gran potencial de desarrollo.
- En cuanto a los resultados obtenidos en relación al diseño y desarrollo de los estudios de los trabajos incluidos en la revisión bibliográfica (ver Apartado 3.4.3.) resaltamos las siguientes conclusiones en los párrafos siguientes:

- Los estudios analizados se centran en un reducido número de variables y éstas hacen referencia generalmente a los outputs de un proceso (actitud, puntuaciones, aprendizaje obtenido, satisfacción y pautas de respuestas a ítems de preguntas), como sucede en la mayoría de los estudios desarrollados en el sector educativo. Cabe resaltar, el predominio de los estudios que utilizan medidas objetivas y cuantitativas (ver Gráfico 3.7), principalmente el rendimiento académico (tales como la Media del Expediente Académico o la calificación obtenida en una o varias asignaturas, según el estudio que se trate), toda vez que estas métricas son aceptadas de forma generalizada por la comunidad educativa como un indicador para la mejora de la actividad educativa.
- En cuanto los estudios que analizan la variable de satisfacción del estudiante, queremos hacer hincapié en aquellos estudios que aplican el CEP para evaluar la satisfacción del estudiante con la actividad docente, (Student Evaluation of Teaching –SET-). Es conocido en este sentido, la incorporación en la mayoría de las universidades de los países desarrollados, las actividades de evaluación de la docencia como un indicador de calidad. Sin embargo, y pese a la constante controversia sobre la validez de estas evaluaciones como reflejo de la calidad docente, la mayor parte de las veces, el tratamiento de los datos de las encuestas termina en estudios estadísticos descriptivos, bajo la perspectiva de los resultados, y no como una medida que refleje la capacidad de las instituciones educativas para prestar servicios educativos de acuerdo con requerimientos y expectativas de los grupos de interés en el ámbito educativo. Si bien es cierto que los estudios revisados se centran en los resultados de los procesos, el enfoque desde la perspectiva del CEP de la evaluación de la actividad docente, constituye un paso importante, para abordar la cuestión desde un nuevo paradigma, más acorde con las demandas de un servicio educativo de calidad por los diferentes grupos de interés.

- Con respecto a la tipología de los gráficos de control utilizados en los estudios, predomina el uso de los gráficos clásicos de control, ya sea de atributos o de variables. La sencillez de este tipo de gráfico y su aplicación a problemas relativamente sencillos que abordan los estudios puede ser la causa de esta concentración. La utilización de gráficos más avanzados, como los gráficos CUSUM o multivariados, parece estar relacionados con estudios más complejos, que tienen en cuenta la presencia de correlación, sesgos o monitorización de múltiples variables.
- Por último, aunque el ámbito geográfico no es una limitación para la aplicación de estas técnicas estadísticas, se pone de manifiesto la concentración de publicaciones en Norteamérica (ver Figura 3.4). La justificación del interés por la aplicación de estas técnicas, se puede encontrar en el propio origen de las mismas y en la trayectoria de implantación de técnicas de gestión y control de la calidad en el sector educativo.

Subobjetivo 2.3.

Determinar la idoneidad de la técnica para nuestro caso objeto de estudio.

Para concluir con los resultados del estudio bibliográfico realizado, presentamos las conclusiones respecto a la idoneidad de la técnica para nuestro caso de estudio.

- La aplicación de las técnicas de CEP en el ámbito educativo presenta fuerte similitud con las aplicaciones en los ámbitos tradicionales industriales y en otros procesos de servicios. En ninguno de los trabajos expuestos se plantea la necesidad de adaptaciones particulares de la técnica para ser aplicada en el contexto educativo.
- El propósito general de las aplicaciones del CEP en los estudios analizados suele coincidir con los propósitos que plantean las aplicaciones convencionales, esto es, distinguir entre causas comunes y causas especiales de variación, con el fin de eliminarlas o reducirlas.

- Por tanto, la aplicación de los gráficos de control tradicionales, así como las técnicas más avanzadas, son adecuadas y efectivas en la mayoría de los estudios revisados y los problemas y limitaciones que pueden surgir en la aplicación de las técnicas de CEP no difieren mucho de las que puedan presentarse en las aplicaciones tradicionales.

Por todo lo expuesto, consideramos que las técnicas del CEP son válidas para abordar diferentes problemáticas en el ámbito educativo, incluida la propuesta en este trabajo, que constituye el siguiente y último objetivo del mismo. No por ello, dejamos de ser consciente de las limitaciones que se presentan a la hora de aplicarlas en el sector analizado.

Objetivo 3. Proponer y aplicar el CEP como herramienta para mejorar la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje en las aulas universitarias.

El estudio realizado en el Capítulo 4 nos ha permitido alcanzar este objetivo, cuyos principales conclusiones recogemos en los siguientes subobjetivos.

Subobjetivo 3.1.

Contextualizar y delimitar el alcance de la estrategia docente objeto de evaluación.

Bajo la consideración del propósito general de nuestra investigación, el análisis desarrollado en el Apartado 4.2 ha permitido contextualizar y delimitar el alcance de la estrategia docente objeto de evaluación, del que obtenemos las siguientes conclusiones:

- Es necesario resaltar las oportunidades que brindan las tecnologías como elemento facilitador de nuevas estrategias docentes, acordes con el contexto educativo actual, en el que se pretende fomentar el aprendizaje autónomo del estudiante y la orientación del aprendizaje por parte del profesor.
- La integración de la dimensión tecnológica y pedagógica permite una actualización del diseño instruccional, al incorporar una serie de

herramientas informáticas y directrices de cómo hacer un uso correcto de ellas en el desarrollo de actividades de aprendizaje, conocidas en este contexto como e-actividades.

- El enfoque socioconstructivista en el que se enmarcan estas actividades, va encaminado a una mayor participación del estudiante en sus propios procesos de aprendizaje, y pueden ir desde la adquisición comprensiva y significativa de contenidos, a desarrollar habilidades y estrategias transversales en su formación, como son la motivación, el aprendizaje estratégico y la formación en valores, entre otros.
- El diseño instruccional es la carta de navegación, tanto para profesores como para estudiantes, y parece lógico además establecer mecanismos de control que permitan una evaluación continua de los procesos y resultados obtenidos, con el fin de tomar, de forma oportuna, las acciones correctoras necesarias y facilitar los procesos de mejora continua en los procesos educativos.

Subobjetivo 3.2.

Establecer las bases y los elementos necesarios para el diseño e implantación del proyecto docente.

El desarrollo del Apartado 4.2.1, nos ha permitido identificar las bases y los elementos necesarios para la implantación y evaluación del proyecto docente, que por las características del mismo enumeramos a continuación:

- El objetivo de la estrategia a aplicar, que de manera resumida, se concreta en favorecer el aprendizaje autónomo de los contenidos prácticos de la asignatura, mediante el uso de un recurso didáctico diseñado para guiar el aprendizaje basado en competencias.
- El trabajo en equipo y coordinado de los docentes implicados en la propuesta educativa, entre cuyas tareas, destacamos:
 - El análisis previo sobre todos aquellos aspectos contextuales vinculados a la docencia de la asignatura (programa docente, número de alumnos, tipo de grupos, recursos disponibles, etc.) y otros aspectos operativos de la docencia para estudiar

la viabilidad de implantación de las guías.

- La consideración de todos aquellos aspectos, necesarios en el diseño y elaboración del recurso didáctico. Entre ellos el formato, la estructura y el contenido teórico, software a utilizar, etc.
- La elaboración de un protocolo de actuación para el desarrollo e implantación del recurso, que incluya aspectos, tales como, dar a conocer a los estudiantes el nuevo recurso didáctico, publicación de las guías tutorizadas en el campus virtual, utilización de las guías para la resolución de los ejercicios propuestos y revisión por los docentes de las prácticas realizadas por los estudiantes para su evaluación.
- Y por último, los alumnos participantes, que de manera habitual asisten a las clases en algunos de los grupos reducidos existentes para el desarrollo del contenido práctico de la asignatura.

Subobjetivo 3.3.

Valorar, de manera general, la propuesta de aprendizaje diseñada e implantada.

A tenor de la valoración que los estudiantes otorgan al uso las guías tutorizadas para el aprendizaje de contenidos prácticos de una asignatura de Organización de Empresas, basándonos en los resultados del análisis descriptivo (ver Apartado 4.4.1.2), podemos concluir que:

- El recurso didáctico ha sido bien acogido por los estudiantes, que lo consideran idóneo y adecuado al contenido de la asignatura y por tanto, de gran utilidad para el aprendizaje de los contenidos teóricos. Aproximadamente el 60% de los estudiantes así lo consideran.
- Los recursos disponibles (plataforma Moodle, equipos informáticos, software, etc.) no son un inconveniente para el uso de las guías, y por tanto para un buen desarrollo de las clases en grupos reducidos. Solo un 24% de los alumnos está en desacuerdo con respecto a ello.
- Las puntuaciones más altas en la valoración de las competencias y habilidades por parte de los alumnos, valoradas de forma independiente, corresponden a la capacidad de trabajar de manera continuada,

autónoma y responsable, que a su vez favorecen el desarrollo de otras competencias también valoradas positivamente (capacidad de análisis y síntesis y de detectar y resolver problemas).

- Consecuencia de lo anterior, existe un consenso generalizado entre los alumnos de la conveniencia de extender el uso de las guías a otras asignaturas de la titulación. El 75,25% de los alumnos así lo reconocen en los cuestionarios cumplimentados por ellos.

Subobjetivo 3.4.

Aplicar y valorar la aplicación del CEP en la estrategia docente propuesta.

Las principales conclusiones de los resultados de la aplicación del CEP desarrollado en el Apartado 4.4.2 son las siguientes:

- Los resultados de la aplicación del análisis multivariado a través del gráfico T^2 de Hotelling para el total de las observaciones del estudio, muestran que la variación del proceso de aprendizaje basado en competencias, objeto de nuestro estudio, es debido a causas aleatorias, y por tanto, no asignables a dicho proceso. Así pues, estos resultados confirman la hipótesis nula planteada inicialmente en este estudio, de que el proceso derivado de la propuesta de aprendizaje no está fuera de control estadístico. Esto se debe, no sólo del análisis de los puntos fuera del intervalo de control del gráfico utilizado, sino también del estudio realizado de manera independiente, mediante gráficos de observaciones individuales de medias y rangos móviles de la valoración de las competencias y destrezas evaluadas en el proceso por los estudiantes, no detectándose además patrones de comportamiento significativos que hagan pensar en alguna causa asignable al proceso.
- No por ello, se ignora la existencia de algunos patrones de puntos consecutivos en el conjunto de las observaciones, que pueden proporcionar información relevante para una adecuada interpretación de los gráficos de control, y por tanto de los resultados obtenidos,

considerando aquellos aspectos que puedan estar afectando al nivel de satisfacción, y por tanto, al nivel de aceptación de la propuesta docente analizada. Nos referimos principalmente a las características de los grupos de clases, tanto por su composición, programación y tamaño.

- No obstante, el análisis de capacidad realizado para completar el estudio del control de calidad, nos muestra, que a pesar de que el proceso no está fuera de control estadístico, aquel no tiene suficiente capacidad para cumplir totalmente con las especificaciones exigidas por los docentes participantes en el proyecto.
- Estos últimos resultados no son totalmente concluyentes y por consiguiente, deben ser interpretados y considerados con la prudencia que requiere este tipo de estudio, en tanto que los indicadores de capacidad de procesos que hemos utilizado son los que habitualmente se aplican en otros ámbitos de estudios, que han sido tratados de manera profusa y con suficiente rigor en la literatura sobre este campo de investigación.
- Por todo lo expuesto anteriormente, y con el fin de cumplir el último de los apartados de este suobjetivo, consideramos oportuno proponer diferentes líneas de mejora (ver Apartado 4.4.2.3), entre las que se destaca:
 - Reprogramación de los grupos prácticos de clases en el plan docente de la asignatura.
 - Planificar y organizar la composición y el tamaño de los grupos en los que se imparten las prácticas.

Subobjetivo 3.5.

Aplicar el CEP para evaluar el nivel de satisfacción/insatisfacción de los estudiantes con el uso de las guías elaboradas para el desarrollo de los contenidos prácticos de la materia impartida.

La aplicación de los gráficos de control de atributo “p” ha permitido la consecución de este suobjetivo. Los resultados del Apartado 4.4.2.2 confirman, que para los diferentes grupos de clases, la representación gráfica de la proporción de alumnos

insatisfechos con la utilización del recurso didáctico, tanto para la valoración global, como para las diferentes competencias evaluadas, verifica también que el proceso está bajo control estadístico, porque la proporción de alumnos insatisfechos en los diferentes grupos de clases está dentro del intervalo de control del gráfico de control de atributo (p) aplicado en el estudio.

5.2. PRINCIPALES APORTACIONES DE LA TESIS

Con toda la prudencia que requiere afrontar esta parte del trabajo, a continuación, exponemos algunas de las aportaciones que creemos pueden derivarse del trabajo que ahora estamos dando por finalizado. Algunas relativas al marco teórico del trabajo y otras derivadas de la aplicación del CEP para evaluar estrategias docentes.

A nuestro juicio, las principales aportaciones son las que se detallan a continuación:

- La revisión bibliográfica presentada en el Capítulo 3 de esta tesis, proporciona un marco bibliográfico referencial sobre la aplicación del CEP en el ámbito educativo, proporcionado a la comunidad científica información relevante de manera estructurada y detallada para futuras investigaciones en este campo de estudio. Ello permite, por un lado, contribuir a la comprensión de la relevancia de este nuevo enfoque de medir la calidad de los diferentes procesos educativos y, por otro lado, continuar profundizando en el estudio de la aplicación del CEP, que como veremos más adelante, proponemos como futuros trabajos.
- Otra aportación de este trabajo, en línea con la anterior, es facilitar y orientar a futuros investigadores en este ámbito de estudio, que pueden encontrar en nuestro trabajo una base documental y bibliográfica que le sirva de punto de partida y apoyo, en sus investigaciones, y que todo investigador agradece.

- La aplicación del CEP en la evaluación de una estrategia docente presentada en el Capítulo 4 de esta tesis, proporciona un enfoque práctico, sistemático y estructurado para evaluar diferentes procesos educativos, y además, diferente al que habitualmente se aplica en el sector educativo. El enfoque presentado y aplicado en este estudio puede proporcionar información relevante para la gestión y control de la calidad de los procesos de aprendizaje y de otros servicios educativos, bajo un enfoque proactivo de mejora continua, detectando las posibles causas de variabilidad asignables a dichos procesos, así como medir la capacidad de las estrategias docente para garantizar la adquisición y desarrollo de las diferentes competencias demandadas en los actuales planes de estudios. Además, la aplicación de estas técnicas, no solo permite la autoevaluación, sino también su uso con fines comparativos (con otras estrategias docentes similares, otros centros universitarios, etc.).
- De esta manera, la propuesta realizada en este estudio, puede contribuir a un cambio de orientación en la evaluación de los procesos educativos en general, y de las estrategias docentes, como las de nuestro estudio, en particular. Es deseable que esta importante herramienta de gestión se comience a aplicar en forma habitual tanto en los procesos de aprendizaje, como en el resto de tareas y servicios de las instituciones educativas, en los que estén involucrados procesos, operaciones o actividades rutinarias.

5.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Como en cualquier trabajo de investigación, su desarrollo, y por tanto, los resultados obtenidos, no están exentos de limitaciones. Aunque ya se han ido referenciando a lo largo del trabajo, a modo de resumen, pasamos a exponerlas a continuación. Se trata de las derivadas principalmente de:

- La metodología empleada en la revisión bibliográfica. Aunque consideramos que el riesgo de haber excluido artículos relevantes en la revisión bibliográfica es bajo, es posible que algunos trabajos que deberían estar incluidos en la revisión se hayan quedado fuera, debido a

los criterios de selección y búsqueda utilizados para consultar las bases de datos.

- Las propias características de la técnica estadística utilizada para evaluar las estrategias docentes.
- Los datos empleados en el estudio para la aplicación práctica. Su carácter cualitativo, el periodo de análisis y el tratamiento aplicado constituyen las principales limitaciones en este ámbito.

5.4. FUTUROS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN

Lejos de suponer un estudio concluido, este trabajo es el inicio y germen de un campo de investigación con un amplio abanico de cuestiones teóricas y prácticas que deben ser analizadas. Sin ánimo de exhaustividad, se pueden resaltar las siguientes, que son consecuencia de algunas conclusiones y limitaciones del trabajo expuestas anteriormente. Concretamente, se pretende:

- Profundizar en la metodología propuesta para mejorar su aplicación, adaptándose a las peculiaridades del sector de servicios y, en particular, del ámbito educativo.
- Aplicar, con fines comparativos, otras alternativas disponibles para la transformación de las variables discretas en formato continuo.
- Replicar la investigación realizada en otros ámbitos del sector educativo, y realizar de esta forma lo que podría ser un interesante análisis comparativo de resultados.
- Completar el estudio realizado, mediante un análisis longitudinal, que nos permita analizar la estabilidad y la capacidad de los procesos educativos a largo plazo, tomando como base los datos utilizados en este estudio.
- Y para finalizar, aunque la revisión bibliográfica presentada en el Capítulo 3, y los resultados de la aplicación práctica presentados en el Capítulo 4 de esta tesis ponen de manifiesto que el CEP es una técnica con alto potencial en su aplicación a procesos y servicios educativos, el verdadero impacto en el sector educativo es difícil de juzgar, debido, principalmente, a la falta de evaluaciones rigurosas (falta evidencia) que apoyen su rol en

los procesos de mejora y excelencia educativa. Es por ello que, permanece la necesidad de seguir investigando en el futuro para mantener actualizado el trabajo presentado en la revisión bibliográfica, de tal forma que pueda constituir una evidencia sólida, que permita confirmar los resultados alentadores que se tienen hasta la fecha.

**ANEXO
CAPÍTULO 3**

Tabla A3.1. Publicación de los estudios de aplicación del CEP en el ámbito educativo

| Código | Artículo | Autores | Revista | Año de publicación del estudio | Factor de Impacto (año 2014) |
|---------------|--|--|---|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | A simple nonparametric quality control chart for monitoring student's GPAs | Bakir, S., Prater, T. y Kiser, S. | Transactions on Statistics and Analysis | 2015 | n.d ¹ |
| 2 | Benchmarking Student Learning Outcomes using Shewhart Control Charts | Peterson, J.S. | 51st ASC Annual International Conference Proceedings | 2015 | n.d |
| 3 | Applying Six Sigma in Higher Education Quality Improvement | Mazumder, Q. | Paper 8594, 121st ASEE Annual Conference, June 13-15, 2014, Indianapolis, USA | 2014 | n.d |
| 4 | Emerging trend of customer satisfaction in academic process | Debnath, R. y Shankar, R. | TQM Journal | 2014 | n.d |
| 5 | On the student evaluation of university courses and faculty members' teaching performance. European | Nikolaidis, Y. y Dimitriadis, S. G. | Journal of Operational Research | 2014 | n.d |
| 6 | Monitoring scale scores over time via quality control charts, model-based approaches, and time series techniques | Lee, Y. y Von Davier, A.A. | Psychometrika | 2013 | 1,085 |
| 7 | Statistical process control applied within an education services environmen. | Green, K. W., Jr, Toms, L. y Stinson, T. | Academy of Educational Leadership Journal | 2012 | n.d. |
| 8 | Students performance evaluation using statistical quality control | Beshah, B. | International Journal of Science and Advanced Technology | 2012 | n.d. |

| Código | Artículo | Autores | Revista | Año de publicación del estudio | Factor de Impacto (año 2014) |
|---------------|---|--|---|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 9 | The use of performance control charts in business schools: A tool for assessing learning outcomes | Cervetti, M. J., Royne, M. B. y Shaffer, J. M. | Journal of Education for Business | 2012 | n.d. |
| 10 | Using statistical process control to enhance student progression | Hanna, M. D., Raichura, N. y Bernardes, E. | Journal of Learning in Higher Education | 2012 | n.d. |
| 11 | Quality control charts in large-scale assessment programs | Schafer, W. D., Coverdale, B. J., Luxenberg, H. y Jin, Y. | Practical Assessment, Research and Evaluation | 2011 | n.d. |
| 12 | A nonparametric test for homogeneity of variances: Application to GPAs of students across academic majors | Bakir, S. T. | American Journal of Business Education | 2010 | n.d. |
| 13 | Monitoring the level of students' GPAs over time | Bakir, S. T. y McNeal, B. | American Journal of Business Education | 2010 | n.d. |
| 14 | Statistical process control charts for measuring and monitoring temporal consistency of ratings | Omar, M. H. | Journal of Educational Measurement | 2010 | 0,922 |
| 15 | Introducing quality control in the chemistry teaching laboratory using control charts | Schazmann, B., Regan, F., Ross, M., Diamond, D. y Paull, B. | Journal of Chemical Education | 2009 | n.d. |
| 16 | A quantitative assessment of classroom teaching and learning in engineering education | Agrawal, D.K. y Khan, Q.M. | European Journal of Engineering Education | 2008 | n.d. |

| Código | Artículo | Autores | Revista | Año de publicación del estudio | Factor de Impacto (año 2014) |
|---------------|--|--|---|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 17 | Improving teaching effectiveness through the application of SPC methodology | Cadden, D., Driscoll, V. y Thompson, M. | College Teaching Methods & Styles Journal | 2008 | n.d. |
| 18 | An assessment of statistical process control-based approaches for charting student evaluation scores | Ding, X., Wardell, D. y Verma, R. | Decision Sciences Journal of Innovative Education | 2006 | n.d. |
| 19 | p-charts in the quality control of the grading process in the high education | Savic, M. | Panoeconomicus | 2006 | 0,77 |
| 20 | Using SPC to assess performance in a graduate course of business | Manguad, B. | Conference Paper ; 13th ANNUAL MEETING, American Society of Business and Behavioral Sciences; 2006; Las Vegas, NV | 2006 | n.d. |
| 21 | A control chart procedure for monitoring university student grading | Edwards, H. P., Govindaraju, K. y Lai, C. D. | International Journal of Services Technology and Management | 2005 | n.d. |
| 22 | An integrated system for educational performance measurement, modeling and management at the classroom level | Grygoryev, K. y Karapetrovic, S. | The TQM Magazine | 2005 | n.d. |
| 23 | Tracking classroom teaching and learning: An SPC application | Grygoryev, K. y Karapetrovic, S. | Quality Engineering | 2005 | n.d. |
| 24 | Using statistical control charts to analyse data from students evaluation of teaching | Marks, N. y O'Connel, T. | Decision Sciences Journal of Innovative Education | 2003 | n.d. |

| Código | Artículo | Autores | Revista | Año de publicación del estudio | Factor de Impacto (año 2014) |
|---------------|---|--|--|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 25 | Outlier detection in high-stakes certification testing | Meijer, R. R. | Jem | 2002 | n.d. |
| 26 | Detection of known items in adaptive testing with a statistical quality control method | Veerkamp, W. J. J. y Glas, C. A. W. | Journal of Educational and Behavioral Statistics | 2000 | 1,225 |
| 27 | Implications of statistical process monitoring for ABET 2000 program evaluation: An example using freshman engineering attitudes | Besterfield-Sacre, M., Amaya N.Y., Shuman, L.J. y Atman,C. | Paper presented at 1998 Annual Conference, Seattle, Washington | 1998 | n.d. |
| 28 | University, inc. | Karapetrovic, S., Rajamani, D. y Willborn, W. W. | Quality Progress | 1999 | n.d. |
| 29 | An approach to the application of statistical quality control techniques in engineering courses | Karapetrovic, S. y Rajamani, D. | Journal of Engineering Education | 1998 | 2,059 |
| 30 | Improving the application of quality conformance tools in service firms | Jensen, J. B. y Markland, R. E. | Journal of Services Marketing | 1996 | 0,989 |
| 31 | Statistical process control and cooperative learning structures: A data assessment and improvement system used in a San Jose State University Summer Bridge Programme | Pierre, C. B. y Mathios, D. | European Journal of Engineering Education | 1995 | n.d. |

¹n.d.: no disponible

Fuente: elaboración propia

Tabla A3.2. Contextualización de los estudios de aplicación del CEP en el ámbito educativo

| Ámbito aplicación | Código | Disciplina | Objetivo | País | Periodo estudio |
|--------------------------|---------------|--------------------|---|----------------|------------------------|
| Universitario | 1 | Economía y Empresa | Analizar cambios estadísticos significativos en las puntuaciones de la Media del Expediente Académico de los estudiantes con respecto a un valor específico (target). | Estados Unidos | 2001-2013 |
| | 2 | Ingeniería | Establecer estándares (targets) de las puntuaciones de los estudiantes que sirvan como referente, | Estados Unidos | 2010-2013 |
| | 3 | Ingeniería | Analizar cambios estadístico significativo en las puntuaciones de la Media del Expediente Académico de los estudiantes y de la institución. | Bangladesh | n.d ¹ |
| | 4 | Multidisciplinar | Medir el impacto de algunos aspectos académicos no docentes en la satisfacción del alumno con la institución educativa. | India | n.d. |
| | 5 | Economía y Empresa | Evaluar la satisfacción del estudiante con de la actividad docente del profesor. | Grecia | n.d. |
| | 7 | Economía y Empresa | Analizar el cambio producido en el conocimiento del estudiante (impacto de la intervención docente) | Estados Unidos | 2009 |
| | 8 | Ingeniería | Analizar el cambio de calificaciones de escala numérica/cuantitativa a escala cualitativa. | Etiopía | n.d. |
| | 9 | Economía y Empresa | Establecer estándares (targets) de las puntuaciones de los estudiantes que sirvan como referente. | Estados Unidos | n.d. |
| | 10 | Economía y Empresa | Analizar las pautas del progreso académico en el tiempo a través del análisis de las puntuaciones. | Estados Unidos | 2001-2006 |

| Ámbito aplicación | Código | Disciplina | Objetivo | País | Periodo estudio |
|--------------------------|---------------|--------------------|--|----------------|------------------------|
| | 12 | Economía y Empresa | Analizar cambios estadístico significativo en las puntuaciones de un conjunto de asignaturas. | Estados Unidos | n.d. |
| | 13 | Economía y Empresa | Analizar cambios estadístico significativo en las puntuaciones de la Media del expediente Académico de los estudiantes. | Estados Unidos | 2005-2009 |
| | 14 | Economía y Empresa | Analizar la consistencia de las puntuaciones en un proceso de co-evaluación. | Arabia Saudí | n.d. |
| | 15 | Ingeniería | Analizar las desviaciones en los resultados de los experimentos llevados a cabo por los alumnos en un laboratorio de química con respecto a un resultado esperado. | Irlanda | 2006-2008 |
| | 16 | Ingeniería | Analizar el cambio producido en el conocimiento del estudiante (impacto de la intervención docente) | India | n.d. |
| | 17 | Economía y Empresa | Evaluar la satisfacción del estudiante con de la actividad docente del profesor. | Estados Unidos | 2002-2005 |
| | 18 | Economía y Empresa | Evaluar la satisfacción del estudiante con de la actividad docente del profesor. | Estados Unidos | 1995-1998 |
| | 19 | Economía y Empresa | Controlar el cambio de puntuaciones de escala numérica/cuantitativa a escala cualitativa. | Serbia | 2004 |
| | 20 | Economía y Empresa | Evaluar la satisfacción del estudiante con de la actividad docente del profesor. | Estados Unidos | 2000-2004 |
| | 21 | Ingeniería | Controlar los procesos de otorgar un grado de puntuación determinado desde la A hasta la C. | Nueva Zelanda | n.d. |
| | 22 | Economía y Empresa | Analizar el cambio producido en el conocimiento del estudiante (impacto de la intervención docente) | Canadá | 2002 |

| Ámbito aplicación | Código | Disciplina | Objetivo | País | Periodo estudio |
|----------------------------|---------------|-----------------------|---|------------------------------|------------------------|
| | 23 | Economía y Empresa | Analizar el cambio producido en el conocimiento del estudiante (impacto de la intervención docente) | Canadá | 2002 |
| | 24 | Multidisciplinar | Evaluar la satisfacción del estudiante con de la actividad docente del profesor y su correlación con la puntuación esperada. | Estados Unidos | n.d. |
| | 27 | Ingeniería | Analizar el cambio producido en la actitud del estudiante frente a las asignaturas de ciencias como consecuencia de acciones de mejora institucional en los programas académicos. | Estados Unidos | 1993-1997 |
| | 28 | Ingeniería | Analizar el cambio producido en el conocimiento del estudiante (impacto de la intervención docente) | Canadá | n.d. |
| | 29 | Ingeniería | Analizar el cambio producido en el conocimiento del estudiante (impacto de la intervención docente) | Canadá | n.d. |
| | 30 | Multidisciplinar | Evaluar la satisfacción de los estudiantes con el servicio de informática de una institución universitaria. | Estados Unidos | n.d. |
| Evaluación a gran escala | 6 | Idiomas | Evaluar la estabilidad de las puntuaciones y analizar los cambios en de escala de puntuaciones. | datos recogidos de 72 países | n.d. |
| | 11 | Conocimientos básicos | Evaluar en rendimiento de los alumnos en los programas de pruebas de diagnóstico escolares a gran escala a través del análisis de las puntuaciones | Estados Unidos | 1994-2001 |
| Adaptativos Informatizados | 26 | Multidisciplinar | (person-fit statistic) en tests adaptativos informatizados. Detectar ítems conocidos en tests Adaptativos Informatizados. | n.d. | datos simulados |

| Ámbito aplicación | Código | Disciplina | Objetivo | País | Periodo estudio |
|--------------------------|---------------|-------------------|---|----------------|------------------------|
| Preuniversitario | 31 | Ingeniería | Analizar el cambio producido en el conocimiento del estudiante (impacto de la intervención docente) | Estados Unidos | 1994 |

¹n.d.: no disponible

Fuente: elaboración propia

Tabla A3.3 Aspectos metodológicos básicos de los estudios

| Código | Característica de calidad | Instrumento | Unidad medida (escala de medida) | Tipo de gráfico/tabla |
|---------------|---|---|---|------------------------------|
| 1 | Puntuaciones | Evaluación por varios medios (varias pruebas de evaluación) | Calificaciones (1-5) | X modificado por el autor |
| 2 | Puntuaciones | Evaluación por varios medios | Calificaciones (0-300) | X y R |
| 3 | Puntuaciones | Evaluación por varios medios | Calificaciones (1-5) | X y R |
| 4 | Satisfacción del estudiante con otros servicios de la universidad | Encuesta de satisfacción | Valoración escala Likert (1-5) | C y U |
| 5 | Satisfacción del estudiante con la actividad docente | Encuesta de satisfacción del estudiante con el profesor | Valoración global del profesor (Likert 1-5) | X y S |
| 6 | Puntuaciones | Evaluación única (Test estándar de evaluación) | Calificaciones (1-25) | CUSUM, X y R |
| 7 | Aprendizaje Obtenido | Pre-test y post-test | Calificaciones (0-100), y asistencia a clase (proporción) | X |
| 8 | Puntuaciones | Evaluación por varios medios | Calificaciones (0-100) | X y R |
| 9 | Puntuaciones | Evaluación por varios medios | Calificaciones (0-100) | X modificado por el autor |
| 10 | Puntuaciones | Evaluación por varios medios | Calificaciones (A-D) | p |
| 11 | Puntuaciones | Exámenes (una prueba de evaluación) | Calificaciones (0-100) | X |
| 12 | Puntuaciones | Evaluación por varios medios | Calificaciones (1-5) | R modificado por el autor |
| 13 | Puntuaciones | Evaluación por varios medios | Calificaciones (1-5) | X modificado por el autor |

| Código | Característica de calidad | Instrumento | Unidad medida (escala de medida) | Tipo de gráfico/tabla |
|---------------|--|---|---|------------------------------|
| 14 | Puntuaciones | Trabajos/exámenes de preguntas abiertas | Calificaciones de trabajos (0-4) | Xy S |
| 15 | Puntuaciones | Experimentos en el laboratorio | diferentes unidades químicas | X |
| 16 | Aprendizaje Obtenido | Pre-test y post-test | proporción de estudiantes (1-5) | p |
| 17 | Satisfacción del estudiante con la actividad docente | Encuesta de satisfacción | Valoración global (del profesor) (1-5) | X |
| 18 | Satisfacción del estudiante con la actividad docente | Encuesta de satisfacción | Valoración global (del profesor) (1-5) | p |
| 19 | Puntuaciones | Evaluación por varios medios | Calificaciones (A-F) | p |
| 20 | Satisfacción del estudiante con la actividad docente | Encuesta de satisfacción | Valoración global (del profesor y de la asignatura)(1-5) | X y R |
| 21 | Puntuaciones | Evaluación por varios medios | Calificaciones (A-E) | Chi-cuadrado |
| 22 | Aprendizaje Obtenido | Pre-test y post-test | proporción de estudiantes | p |
| 23 | Aprendizaje Obtenido | Pre-test y post-test | proporción de estudiantes | p |
| 24 | Satisfacción del estudiante con la actividad docente | Encuesta de satisfacción | Valoración global (del profesor y asignatura)(Likert 1-5) | X |
| 25 | Pauta de respuesta a ítems de Preguntas | Test adaptativo informatizado | Valoración ítems (múltiple escala) | CUSUM |
| 26 | Pauta de respuesta a ítems de Preguntas | Test adaptativo informatizado | Valoración ítems (múltiple escala) | CUSUM |
| 27 | Actitud | Encuesta de opinión | Valoración (Likert 1-5) | Chi cuadrado y p modificado |
| 28 | Aprendizaje Obtenido | pre-test y post-test | proporción de preguntas acertadas | p |

| Código | Característica de calidad | Instrumento | Unidad medida (escala de medida) | Tipo de gráfico/tabla |
|---------------|--|--------------------------|---|------------------------------|
| 29 | Aprendizaje Obtenido | Pre-test y post-test | proporción de preguntas acertadas | p |
| 30 | Satisfacción del estudiante con los servicios de informática de la universidad | Encuesta de satisfacción | Valoración ítems (escala Likert 7) | T ² Hotelling |
| 31 | Aprendizaje Obtenido | Pre-test y post-test | proporción de estudiantes | p |

Fuente: elaboración propia

ANEXO

CAPÍTULO 4

Cuestionario

Encuesta de evaluación

Bloque I: Datos de identificación

| |
|--|
| 1 ^{er} Cuatrimestre <input type="checkbox"/> 2 ^o Cuatrimestre <input type="checkbox"/> |
| Grupo de teoría Grupo de práctica |
| Curso mas alto en el que está matriculado |

Datos del estudiante

| | | | | |
|---|---|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| Edad | Hombre <input type="checkbox"/> | Mujer <input type="checkbox"/> | Trabajas: Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> |
| 1 ^a matrícula | Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> | | | |
| Nº veces que ha aprobado las prácticas | Ninguna <input type="checkbox"/> Una <input type="checkbox"/> Dos <input type="checkbox"/> Tres <input type="checkbox"/> Más de tres <input type="checkbox"/> | | | |
| Asiste habitualmente al grupo de prácticas seleccionado | Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> | | | |
| Asiste habitualmente a las clases teóricas | Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> | | | |

Bloque II: Valoración de las presentaciones guiadas utilizadas en las prácticas

Valora los siguientes aspectos en una escala numérica de 1 (totalmente en desacuerdo) a 5 (totalmente de acuerdo).

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| En general, estoy satisfecho con el recurso didáctico utilizado | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Creo que el recurso didáctico es idóneo y adecuado al contenido de la asignatura | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Creo que el recurso didáctico es útil para el aprendizaje de los contenidos teóricos de la asignatura | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Estoy satisfecho con el funcionamiento de los recursos disponibles (equipos informáticos, plataforma moodle, aula, etc.) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Extendería el uso de las presentaciones guiadas a otras asignaturas de la titulación | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Bloque III: Valoración de competencias y habilidades

Indique, según su experiencia personal, en que medida el uso de las presentaciones guiadas le ha ayudado a mejorar y/o adquirir las siguientes competencias y habilidades (1: totalmente en desacuerdo; 5: totalmente de acuerdo):

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Autonomía y responsabilidad La secuencia de pasos del proceso descrito en las presentaciones guiadas de las prácticas ha facilitado la resolución de otros ejercicios fuera del aula | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Capacidad de aprendizaje El uso de las presentaciones guiadas me ha permitido concienciarme de que me interesa progresar y continuar aprendiendo | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Estudio de forma continuada Para el uso de las presentaciones guiadas es imprescindible el estudio de la materia tratada en cada práctica | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Habilidad de comunicación El uso de las presentaciones guiadas me ha ayudado a mejorar la exposición de las nuevas ideas, tanto de forma oral como por escrito | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Capacidad de análisis y síntesis El uso de las presentaciones guiadas mejora la habilidad para seleccionar la información relevante, desagregarla en partes o combinarlas para llegar a una conclusión | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Tecnologías de la información La complejidad del software utilizado en las prácticas dificulta el uso de las presentaciones guiadas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Capacidad de crítica y evaluación El uso de las presentaciones guiadas promueve el análisis y la crítica de los principios y las bases teóricas de la asignatura | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Capacidad para detectar problemas El uso de las presentaciones guiadas me ha ayudado a mejorar la habilidad para distinguir, identificar y resolver problemas concretos de manera más fácil | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Bloque III: Valoración de competencias y habilidades (continuación)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| Las presentaciones guiadas me han ayudado a comprender mejor los contenidos de la asignatura | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Las presentaciones guiadas me han facilitado el estudio de la asignatura | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Las presentaciones guiadas me han facilitado aplicar los contenidos teóricos a las prácticas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Las presentaciones guiadas utilizadas para la resolución de los ejercicios me ha implicado más en el aprendizaje de la asignatura | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Creo que la nota final puede mejorar gracias a la utilización de las presentaciones guiadas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |

Comentarios, observaciones o sugerencias:

Muchas gracias por vuestra colaboración

Tabla A4.1. Resultados de la transformación POLS para el total de observaciones

| Nº | T14 | T15 | T16 | T17 | T18 | T19 | T20 | T21 |
|----|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| 1 | 0,0437812 | 1,541394 | -1,011865 | -1,660884 | -0,9959882 | -0,8899891 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 2 | -1,83448 | 1,541394 | -1,849893 | 1,55716 | -1,784593 | -0,8899891 | 1,658048 | -1,942018 |
| 3 | 1,151809 | 0,4899442 | 0,2720586 | 0,6012464 | 0,2766987 | 1,16002 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 4 | -0,6547097 | -0,195848 | 0,2720586 | 0,6012464 | 0,2766987 | 0,6371664 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 5 | 0,0437812 | 0,4899442 | -1,011865 | 0,6012464 | 0,2766987 | -0,8899891 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 6 | -1,12639 | -0,7921007 | 0,2720586 | -0,784316 | -0,9959882 | 1,16002 | -0,9824326 | -1,235601 |
| 7 | 0,0437812 | -0,7921007 | -0,440615 | -0,784316 | 0,2766987 | 0,128633 | -0,9824326 | 0,0217417 |
| 8 | 0,0437812 | -0,7921007 | 0,2720586 | -0,784316 | 0,2766987 | 1,934799 | 0,5737115 | -1,235601 |
| 9 | 0,0437812 | 0,4899442 | -1,011865 | 0,6012464 | 0,2766987 | 0,128633 | -0,9824326 | -1,235601 |
| 10 | 1,151809 | -0,7921007 | 1,352688 | 0,6012464 | 0,2766987 | 0,6371664 | 0,5737115 | 1,198253 |
| 11 | -1,12639 | -0,7921007 | -1,011865 | -0,784316 | -0,9959882 | 1,16002 | -0,9824326 | -1,235601 |
| 12 | 1,151809 | 1,541394 | 0,2720586 | -0,1133142 | 0,2766987 | 1,16002 | 0,5737115 | 1,198253 |
| 13 | -1,12639 | -0,7921007 | -1,011865 | -1,660884 | -1,784593 | 0,128633 | -0,9824326 | 0,0217417 |
| 14 | 0,0437812 | 0,4899442 | 0,2720586 | -0,1133142 | -0,9959882 | 0,128633 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 15 | 0,0437812 | 0,4899442 | -1,011865 | -1,660884 | 0,2766987 | -0,8899891 | 0,5737115 | 1,198253 |
| 16 | -1,83448 | -0,7921007 | -0,440615 | -0,784316 | 0,2766987 | 0,128633 | 0,5737115 | -1,235601 |
| 17 | -1,12639 | -1,709853 | -0,440615 | -1,660884 | -1,784593 | -0,8899891 | -0,9824326 | -1,942018 |
| 18 | -0,6547097 | -0,195848 | -0,440615 | -0,1133142 | -0,448954 | 0,6371664 | -0,2898331 | -1,942018 |
| 19 | 0,0437812 | 0,4899442 | 0,2720586 | 0,6012464 | 0,2766987 | 0,6371664 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 20 | 1,151809 | 1,541394 | 1,352688 | 1,55716 | 1,3577 | 1,934799 | 1,658048 | 1,198253 |
| 21 | -1,12639 | -0,7921007 | -1,011865 | -0,1133142 | 0,2766987 | 1,16002 | 0,5737115 | -1,235601 |

| N° | T14 | T15 | T16 | T17 | T18 | T19 | T20 | T21 |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 22 | -0,6547097 | 1,541394 | 0,2720586 | -0,1133142 | 0,2766987 | 0,128633 | -0,2898331 | 0,0217417 |
| 23 | 0,0437812 | -0,7921007 | 0,2720586 | -0,784316 | -0,9959882 | 0,128633 | -0,2898331 | 0,0217417 |
| 24 | 1,151809 | 0,4899442 | -0,440615 | 1,55716 | 1,3577 | 1,934799 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 25 | -1,12639 | -0,7921007 | -1,011865 | -1,660884 | -0,9959882 | -0,8899891 | 0,5737115 | -1,235601 |
| 26 | 0,0437812 | -0,7921007 | 0,2720586 | 0,6012464 | 0,2766987 | 0,128633 | -0,2898331 | -0,7577577 |
| 27 | 0,0437812 | -0,7921007 | -0,440615 | -0,784316 | 0,2766987 | 0,128633 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 28 | -1,12639 | 0,4899442 | -1,011865 | -0,784316 | 0,2766987 | -0,8899891 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 29 | 0,0437812 | 0,4899442 | -1,011865 | 0,6012464 | 0,2766987 | -0,8899891 | -0,9824326 | 1,198253 |
| 30 | 0,0437812 | 0,4899442 | 1,352688 | 0,6012464 | 0,2766987 | -0,8899891 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 31 | 0,0437812 | 1,541394 | 0,2720586 | -0,1133142 | -0,448954 | 0,6371664 | -0,2898331 | 0,0217417 |
| 32 | 0,0437812 | 0,4899442 | -1,011865 | 0,6012464 | 1,3577 | -0,8899891 | -0,2898331 | 0,0217417 |
| 33 | 1,151809 | 0,4899442 | 0,2720586 | 1,55716 | 1,3577 | 0,128633 | -0,2898331 | 0,0217417 |
| 34 | 0,0437812 | 0,4899442 | -0,440615 | -0,1133142 | -0,9959882 | 0,6371664 | -0,2898331 | 0,0217417 |
| 35 | 1,151809 | -0,195848 | -0,440615 | 0,6012464 | -0,448954 | 0,6371664 | -0,2898331 | 0,0217417 |
| 36 | 0,0437812 | -0,7921007 | 0,2720586 | -0,784316 | -0,448954 | -0,8899891 | -0,2898331 | 1,198253 |
| 37 | -1,83448 | 0,4899442 | -0,440615 | 0,6012464 | -0,448954 | 0,128633 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 38 | 1,151809 | 1,541394 | -0,440615 | 0,6012464 | 1,3577 | 0,128633 | -1,782109 | 1,198253 |
| 39 | -0,6547097 | -0,7921007 | 0,2720586 | 1,55716 | 0,2766987 | 0,128633 | -0,9824326 | 1,198253 |
| 40 | 1,151809 | 0,4899442 | 0,2720586 | -0,1133142 | 0,2766987 | -0,8899891 | 0,5737115 | 1,198253 |
| 41 | 0,0437812 | -0,195848 | 1,352688 | 0,6012464 | -0,448954 | 0,128633 | 0,5737115 | 1,198253 |
| 42 | -1,12639 | -0,7921007 | -1,849893 | 0,6012464 | 0,2766987 | 0,128633 | -0,2898331 | 0,0217417 |
| 43 | 0,0437812 | -0,7921007 | -1,011865 | 0,6012464 | 0,2766987 | 0,128633 | -0,2898331 | -1,235601 |

| N° | T14 | T15 | T16 | T17 | T18 | T19 | T20 | T21 |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 44 | 1,151809 | -0,195848 | -0,440615 | 0,6012464 | -0,448954 | 0,128633 | -0,2898331 | -0,7577577 |
| 45 | 1,151809 | -0,7921007 | -0,440615 | -0,784316 | -1,784593 | -0,8899891 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 46 | 0,0437812 | -0,195848 | 0,2720586 | -0,1133142 | -0,9959882 | 1,16002 | -0,2898331 | 0,0217417 |
| 47 | 1,151809 | 0,4899442 | 1,352688 | 1,55716 | 1,3577 | -0,8899891 | 1,658048 | 1,198253 |
| 48 | -1,12639 | -1,709853 | 0,2720586 | -0,1133142 | 1,3577 | -0,8899891 | -1,782109 | 0,0217417 |
| 49 | -1,12639 | -0,7921007 | 0,2720586 | -0,784316 | -0,9959882 | 0,128633 | -0,9824326 | -1,235601 |
| 50 | 1,151809 | 1,541394 | -1,849893 | 1,55716 | 1,3577 | -0,8899891 | 1,658048 | 1,198253 |
| 51 | 1,151809 | 1,541394 | 1,352688 | 1,55716 | 1,3577 | 1,934799 | 1,658048 | 1,198253 |
| 52 | 1,151809 | -0,7921007 | 0,2720586 | -1,660884 | 1,3577 | -0,8899891 | -0,9824326 | 0,0217417 |
| 53 | 0,0437812 | 1,541394 | 1,352688 | 1,55716 | 1,3577 | -0,8899891 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 54 | 1,151809 | -1,709853 | 0,2720586 | 0,6012464 | -0,9959882 | -0,8899891 | -1,782109 | -1,942018 |
| 55 | -1,12639 | -0,7921007 | -1,849893 | -0,1133142 | -0,9959882 | 0,128633 | 1,658048 | -0,7577577 |
| 56 | 0,0437812 | 0,4899442 | 0,2720586 | -0,1133142 | 0,2766987 | 0,128633 | -0,2898331 | 0,0217417 |
| 57 | 1,151809 | 0,4899442 | -1,011865 | -0,1133142 | 1,3577 | -0,8899891 | 1,658048 | 0,0217417 |
| 58 | 0,0437812 | 1,541394 | -0,440615 | 0,6012464 | 1,3577 | -0,8899891 | 0,5737115 | 1,198253 |
| 59 | 0,0437812 | 1,541394 | 1,352688 | 1,55716 | 1,3577 | -0,8899891 | 1,658048 | 1,198253 |
| 60 | 1,151809 | 0,4899442 | -0,440615 | 0,6012464 | 1,3577 | -0,8899891 | -0,9824326 | 1,198253 |
| 61 | 0,0437812 | 0,4899442 | 1,352688 | 0,6012464 | -0,9959882 | 0,6371664 | -0,2898331 | -0,7577577 |
| 62 | 1,151809 | 0,4899442 | 0,2720586 | 0,6012464 | 0,2766987 | -0,8899891 | -1,782109 | -0,7577577 |
| 63 | 1,151809 | 0,4899442 | 0,2720586 | 0,6012464 | 1,3577 | -0,8899891 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 64 | 1,151809 | -0,195848 | -1,849893 | -0,784316 | 0,2766987 | 1,934799 | 0,5737115 | 1,198253 |
| 65 | -0,6547097 | -0,7921007 | 1,352688 | 0,6012464 | 0,2766987 | 0,128633 | 0,5737115 | 0,0217417 |

| N° | T14 | T15 | T16 | T17 | T18 | T19 | T20 | T21 |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 66 | -0,6547097 | -0,7921007 | 0,2720586 | -0,1133142 | 1,3577 | 1,934799 | -0,2898331 | 0,0217417 |
| 67 | 0,0437812 | -1,709853 | 0,2720586 | -0,1133142 | 0,2766987 | 1,934799 | -1,782109 | -1,235601 |
| 68 | 0,0437812 | 0,4899442 | 0,2720586 | 0,6012464 | 0,2766987 | -0,8899891 | -0,9824326 | 0,0217417 |
| 69 | 1,151809 | 0,4899442 | 0,2720586 | 1,55716 | 0,2766987 | 1,16002 | 0,5737115 | 1,198253 |
| 70 | 1,151809 | 1,541394 | 1,352688 | 1,55716 | 1,3577 | 0,6371664 | 1,658048 | 1,198253 |
| 71 | 1,151809 | -0,195848 | 0,2720586 | -0,784316 | 0,2766987 | -0,8899891 | 0,5737115 | 1,198253 |
| 72 | 0,0437812 | 1,541394 | 1,352688 | 1,55716 | -0,448954 | -0,8899891 | 1,658048 | 0,0217417 |
| 73 | 1,151809 | 1,541394 | 1,352688 | 1,55716 | 1,3577 | -0,8899891 | 1,658048 | 1,198253 |
| 74 | -0,6547097 | 0,4899442 | -1,011865 | 0,6012464 | -0,448954 | 1,934799 | -0,2898331 | 0,0217417 |
| 75 | -1,12639 | -1,709853 | 1,352688 | -1,660884 | -1,784593 | 0,128633 | -1,782109 | -1,942018 |
| 76 | 1,151809 | -0,195848 | 0,2720586 | -0,784316 | 0,2766987 | -0,8899891 | -0,2898331 | 1,198253 |
| 77 | 1,151809 | 1,541394 | 0,2720586 | 1,55716 | 1,3577 | -0,8899891 | 0,5737115 | 1,198253 |
| 78 | -0,6547097 | 0,4899442 | 1,352688 | -0,1133142 | -0,9959882 | 0,128633 | -0,9824326 | -1,235601 |
| 79 | 0,0437812 | -0,195848 | 0,2720586 | -0,784316 | 0,2766987 | -0,8899891 | -0,2898331 | 0,0217417 |
| 80 | -1,12639 | -0,195848 | -0,440615 | 0,6012464 | 1,3577 | 1,16002 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 81 | 0,0437812 | 0,4899442 | 0,2720586 | 0,6012464 | 1,3577 | 0,6371664 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 82 | 1,151809 | 1,541394 | 1,352688 | 1,55716 | 1,3577 | 1,934799 | 1,658048 | 1,198253 |
| 83 | 1,151809 | 0,4899442 | 1,352688 | -0,784316 | 1,3577 | -0,8899891 | -0,9824326 | 1,198253 |
| 84 | 0,0437812 | 0,4899442 | -1,011865 | 0,6012464 | 0,2766987 | -0,8899891 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 85 | 0,0437812 | -0,195848 | 0,2720586 | -0,1133142 | -0,9959882 | -0,8899891 | -0,2898331 | 0,0217417 |
| 86 | 0,0437812 | 0,4899442 | 1,352688 | -0,1133142 | 0,2766987 | -0,8899891 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 87 | 0,0437812 | 0,4899442 | 0,2720586 | 0,6012464 | -0,9959882 | -0,8899891 | -0,9824326 | -1,942018 |

| N° | T14 | T15 | T16 | T17 | T18 | T19 | T20 | T21 |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 88 | 1,151809 | -0,195848 | 1,352688 | -0,1133142 | 0,2766987 | 0,6371664 | 1,658048 | 0,0217417 |
| 89 | 0,0437812 | 0,4899442 | 1,352688 | -0,1133142 | 0,2766987 | -0,8899891 | -0,2898331 | 1,198253 |
| 90 | 0,0437812 | -0,195848 | -0,440615 | -0,1133142 | -0,448954 | -0,8899891 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 91 | -0,6547097 | -0,7921007 | -1,011865 | -0,1133142 | 0,2766987 | -0,8899891 | -0,2898331 | 0,0217417 |
| 92 | 0,0437812 | 0,4899442 | 1,352688 | 1,55716 | 0,2766987 | -0,8899891 | 1,658048 | -0,7577577 |
| 93 | 1,151809 | 1,541394 | 1,352688 | 1,55716 | 1,3577 | 0,128633 | -0,2898331 | 1,198253 |
| 94 | 0,0437812 | 0,4899442 | 0,2720586 | -0,1133142 | -0,448954 | 1,16002 | -0,2898331 | 0,0217417 |
| 95 | 0,0437812 | -1,709853 | 1,352688 | -1,660884 | -1,784593 | 0,6371664 | -1,782109 | -1,942018 |
| 96 | -0,6547097 | 0,4899442 | 1,352688 | 0,6012464 | -0,448954 | -0,8899891 | -0,2898331 | 1,198253 |
| 97 | 1,151809 | 0,4899442 | 0,2720586 | -0,784316 | -1,784593 | 1,16002 | -0,9824326 | 0,0217417 |
| 98 | 1,151809 | -0,7921007 | 1,352688 | 0,6012464 | -0,448954 | -0,8899891 | 0,5737115 | -0,7577577 |
| 99 | 0,0437812 | 0,4899442 | -1,011865 | -0,1133142 | 1,3577 | -0,8899891 | -1,782109 | 1,198253 |
| 100 | 0,0437812 | -0,195848 | -0,440615 | -0,784316 | 0,2766987 | 0,128633 | -0,2898331 | 0,0217417 |
| 101 | 1,151809 | 0,4899442 | 1,352688 | 0,6012464 | 0,2766987 | -0,8899891 | -0,2898331 | -0,7577577 |
| 102 | 0,0437812 | 0,4899442 | 1,352688 | -0,784316 | -1,784593 | 1,16002 | -0,9824326 | 1,198253 |
| 103 | 0,0437812 | 1,541394 | 1,352688 | 0,6012464 | -0,448954 | 0,6371664 | -0,2898331 | 1,198253 |
| 104 | -1,12639 | -0,7921007 | 0,2720586 | -1,660884 | -0,448954 | 1,934799 | -0,2898331 | -1,235601 |
| 105 | 0,0437812 | -0,7921007 | -0,440615 | 0,6012464 | -0,448954 | 1,16002 | 0,5737115 | -0,7577577 |
| 106 | 0,0437812 | -1,709853 | -1,011865 | -1,660884 | -0,448954 | -0,8899891 | -1,782109 | 1,198253 |
| 107 | 1,151809 | 0,4899442 | -1,011865 | 0,6012464 | 0,2766987 | 1,16002 | 0,5737115 | 1,198253 |
| 108 | -1,83448 | -0,195848 | -0,440615 | -1,660884 | -0,9959882 | 0,6371664 | -0,2898331 | -0,7577577 |
| 109 | 1,151809 | -0,195848 | 1,352688 | -0,1133142 | 0,2766987 | 0,6371664 | 0,5737115 | 1,198253 |

| N° | T14 | T15 | T16 | T17 | T18 | T19 | T20 | T21 |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 110 | 1,151809 | 1,541394 | 0,2720586 | 0,6012464 | 1,3577 | -0,8899891 | -0,2898331 | 1,198253 |
| 111 | 1,151809 | 0,4899442 | 0,2720586 | -0,1133142 | -0,448954 | 0,6371664 | -0,2898331 | 0,021741 |
| 112 | 0,0437812 | 0,4899442 | -0,440615 | 1,55716 | 1,3577 | -0,8899891 | 1,658048 | 0,021741 |
| 113 | 1,151809 | -0,195848 | -1,849893 | 1,55716 | 0,2766987 | -0,8899891 | -1,782109 | 0,021741 |
| 114 | 1,151809 | 0,4899442 | -0,440615 | 1,55716 | 0,2766987 | -0,8899891 | 1,658048 | 1,198253 |
| 115 | -1,12639 | -1,709853 | -1,011865 | -1,660884 | 0,2766987 | 0,6371664 | -0,9824326 | 0,021741 |
| 116 | -1,12639 | -1,709853 | -0,440615 | -1,660884 | -0,9959882 | 1,16002 | -1,782109 | -0,757757 |
| 117 | 0,0437812 | -0,7921007 | -1,011865 | -0,1133142 | 0,2766987 | 0,6371664 | -0,2898331 | 0,021741 |
| 118 | -0,6547097 | 0,4899442 | 0,2720586 | -0,1133142 | 0,2766987 | -0,8899891 | 0,5737115 | -0,757757 |
| 119 | -0,6547097 | -0,7921007 | -1,011865 | -0,784316 | -0,448954 | 1,16002 | -0,2898331 | -0,757757 |
| 120 | -1,83448 | -1,709853 | -1,849893 | -1,660884 | -1,784593 | 1,934799 | -1,782109 | -1,942018 |
| 121 | -1,83448 | -0,7921007 | -1,849893 | -0,784316 | -0,9959882 | 0,6371664 | -0,2898331 | -1,235601 |
| 122 | -0,6547097 | -0,7921007 | -0,440615 | 1,55716 | -0,9959882 | -0,8899891 | -0,2898331 | 0,021741 |
| 123 | -0,6547097 | 0,4899442 | 0,2720586 | -0,1133142 | -0,448954 | -0,8899891 | -0,2898331 | -0,75775 |
| 124 | -1,83448 | -1,709853 | -0,440615 | -1,660884 | -1,784593 | -0,8899891 | -1,782109 | -1,94201 |
| 125 | 0,0437812 | -1,709853 | -1,849893 | -0,784316 | -0,9959882 | 0,6371664 | -0,2898331 | -0,75775 |
| 126 | 1,151809 | 0,4899442 | 0,2720586 | 0,6012464 | 0,2766987 | 1,16002 | -0,2898331 | 0,021741 |
| 127 | 1,151809 | 0,4899442 | -0,440615 | 1,55716 | 1,3577 | 0,6371664 | -0,2898331 | 1,198253 |
| 128 | -1,83448 | -1,709853 | -1,849893 | -0,1133142 | -1,784593 | -0,8899891 | -1,782109 | -0,75775 |
| 129 | 0,0437812 | 0,4899442 | 0,2720586 | 0,6012464 | 0,2766987 | -0,8899891 | -0,9824326 | 1,198253 |
| 130 | 1,151809 | -0,7921007 | 0,2720586 | -0,1133142 | 1,3577 | -0,8899891 | 0,5737115 | 0,021741 |
| 131 | -0,6547097 | -0,7921007 | 0,2720586 | -0,784316 | 0,2766987 | 0,128633 | -0,2898331 | -0,75775 |

| N° | T14 | T15 | T16 | T17 | T18 | T19 | T20 | T21 |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 132 | 0,0437812 | -1,709853 | -0,440615 | -0,1133142 | 0,2766987 | -0,8899891 | -0,2898331 | 0,021741 |
| 133 | 0,0437812 | -1,709853 | -1,849893 | -1,660884 | -0,9959882 | -0,8899891 | -0,2898331 | -1,942018 |
| 134 | 0,0437812 | 0,4899442 | 0,2720586 | -0,1133142 | 0,2766987 | 0,128633 | -0,2898331 | 0,021741 |
| 135 | 1,151809 | 0,4899442 | -1,011865 | -0,1133142 | 0,2766987 | -0,8899891 | 0,5737115 | 1,198253 |
| 136 | 0,0437812 | 0,4899442 | 1,352688 | -0,1133142 | 0,2766987 | 0,6371664 | -0,9824326 | 0,021741 |
| 137 | -0,6547097 | 0,4899442 | 0,2720586 | -0,1133142 | -0,448954 | 0,128633 | 0,5737115 | 0,021741 |
| 138 | -0,6547097 | -0,195848 | -1,011865 | -0,1133142 | -0,9959882 | 1,16002 | -0,9824326 | -1,235601 |
| 139 | 1,151809 | 1,541394 | -1,011865 | 1,55716 | -0,448954 | -0,8899891 | -1,782109 | 0,021741 |
| 140 | -0,6547097 | -0,7921007 | 0,2720586 | 0,6012464 | 0,2766987 | -0,8899891 | 0,5737115 | 1,198253 |
| 141 | 0,0437812 | 1,541394 | 1,352688 | 1,55716 | 1,3577 | 1,934799 | 0,5737115 | 1,198253 |
| 142 | -0,6547097 | -0,195848 | 0,2720586 | -0,784316 | -0,448954 | -0,8899891 | -0,2898331 | -0,757757 |
| 143 | -1,83448 | -1,709853 | -1,849893 | -1,660884 | -1,784593 | -0,8899891 | -1,782109 | -1,942018 |
| 144 | -1,83448 | -1,709853 | 1,352688 | -1,660884 | 0,2766987 | -0,8899891 | -0,9824326 | 1,198253 |
| 145 | 1,151809 | -0,195848 | 0,2720586 | -0,1133142 | -0,448954 | 0,128633 | 0,5737115 | 0,021741 |
| 146 | 1,151809 | -0,195848 | 1,352688 | 1,55716 | 0,2766987 | -0,8899891 | 0,5737115 | 1,198253 |
| 147 | -1,83448 | -0,195848 | 0,2720586 | -0,1133142 | 0,2766987 | 0,128633 | 0,5737115 | 1,198253 |
| 148 | 0,0437812 | -0,195848 | -1,011865 | -0,1133142 | -0,448954 | 1,16002 | -0,2898331 | -1,235601 |
| 149 | -0,6547097 | -0,7921007 | 1,352688 | 0,6012464 | 1,3577 | -0,8899891 | 1,658048 | 0,0217417 |
| 150 | -0,6547097 | -0,195848 | -0,440615 | 0,6012464 | 1,3577 | 0,6371664 | -0,2898331 | 0,0217417 |
| 151 | 0,0437812 | 0,4899442 | 1,352688 | -0,1133142 | -0,448954 | 1,16002 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 152 | 0,0437812 | -0,195848 | 1,352688 | -0,1133142 | -0,448954 | 1,16002 | 0,5737115 | 0,0217417 |
| 153 | -1,12639 | -1,709853 | 0,2720586 | -0,784316 | -0,9959882 | -0,8899891 | -0,9824326 | 0,0217417 |

| N° | T14 | T15 | T16 | T17 | T18 | T19 | T20 | T21 |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 154 | 1,151809 | -0,195848 | -0,440615 | 0,6012464 | -0,448954 | 0,6371664 | 0,5737115 | -0,757757 |
| 155 | -1,83448 | -0,195848 | 0,2720586 | -0,784316 | -0,448954 | 0,6371664 | 1,658048 | 0,021741 |
| 156 | -1,83448 | -0,7921007 | 0,2720586 | -0,784316 | -0,9959882 | -0,8899891 | 0,5737115 | -1,235601 |
| 157 | -0,6547097 | 1,541394 | -0,440615 | -0,1133142 | -0,448954 | -0,8899891 | 1,658048 | 0,021741 |
| 158 | 0,0437812 | 0,4899442 | 0,2720586 | -0,1133142 | -0,448954 | 0,128633 | 0,5737115 | 0,021741 |
| 159 | -0,6547097 | -0,7921007 | 0,2720586 | -0,784316 | -0,448954 | 0,128633 | -0,2898331 | -0,757757 |
| 160 | -0,6547097 | -0,195848 | 0,2720586 | -0,784316 | 1,3577 | -0,8899891 | 0,5737115 | 0,021741 |
| 161 | 0,0437812 | 1,541394 | 1,352688 | -0,1133142 | -1,784593 | -0,8899891 | -0,2898331 | 0,021741 |
| 162 | 1,151809 | -0,7921007 | -1,011865 | -0,1133142 | 1,3577 | -0,8899891 | 0,5737115 | 1,198253 |
| 163 | 1,151809 | 0,4899442 | -0,440615 | -0,1133142 | -0,448954 | 0,128633 | -0,2898331 | -0,757757 |
| 164 | -0,6547097 | 0,4899442 | 0,2720586 | 1,55716 | 1,3577 | 0,6371664 | 1,658048 | 1,198253 |
| 165 | 1,151809 | 1,541394 | 1,352688 | 0,6012464 | 1,3577 | 0,128633 | 1,658048 | 1,198253 |

Fuente: elaboración propia

Tabla A4.2. Resultados de la descomposición del estadístico T^2 para el total de observaciones

| Observ. N° | Valores T^2 (165 obs.) | | Valores T^2 (164 obs.) | |
|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|
| | T^2 1 | T^2 2 | T^2 1 | T^2 2 |
| 1 | 17,8568499 | 1,11142622 | 18,1669541 | 1,12093629 |
| 2 | 31,0096158 | 1,80166814 | * | * |
| 3 | 3,60654699 | 0,44083561 | 3,57926625 | 0,44345618 |
| 4 | 2,52203606 | 0,4700328 | 2,55318683 | 0,47660234 |
| 5 | 3,2373352 | 0,67110384 | 3,66355805 | 0,68139419 |
| 6 | 4,48052281 | 0,89063717 | 4,44919362 | 0,89369938 |
| 7 | 2,62705812 | 0,51754914 | 2,84230355 | 0,51092586 |
| 8 | 10,274311 | 1,06916354 | 10,3102242 | 1,07135506 |
| 9 | 7,47242555 | 0,77145506 | 7,69235972 | 0,78126088 |
| 10 | 9,48984863 | 0,71765985 | 9,91678083 | 0,71636578 |
| 11 | 4,40360007 | 0,82888252 | 4,45746092 | 0,83306886 |
| 12 | 7,79484848 | 0,63605186 | 7,77445349 | 0,63853338 |
| 13 | 8,11450033 | 0,74612738 | 8,08036104 | 0,7493396 |
| 14 | 3,1029573 | 0,52260456 | 3,27357919 | 0,53176444 |
| 15 | 12,7584643 | 1,03766468 | 12,6926719 | 1,04272806 |
| 16 | 7,98234043 | 0,86497191 | 8,08083238 | 0,87525885 |
| 17 | 7,46890026 | 0,56450108 | 7,50464293 | 0,56856261 |
| 18 | 5,76590465 | 0,76480268 | 6,05848205 | 0,77587353 |
| 19 | 1,08440297 | 0,25618785 | 1,13542054 | 0,26518158 |
| 20 | 9,42018438 | 0,27665762 | 9,3727219 | 0,27823635 |
| 21 | 7,0841234 | 0,94684587 | 7,21186469 | 0,95600872 |
| 22 | 7,54914723 | 0,67987881 | 7,6276257 | 0,68723948 |
| 23 | 2,96764225 | 0,52733945 | 2,97816875 | 0,52555896 |
| 24 | 9,9322364 | 0,85691914 | 9,86565746 | 0,86182435 |
| 25 | 8,17788955 | 0,69543383 | 8,44222985 | 0,70420501 |
| 26 | 3,45535897 | 0,51361942 | 3,42826613 | 0,51585098 |
| 27 | 3,32223714 | 0,53356487 | 3,34280064 | 0,53325047 |
| 28 | 7,26775419 | 0,76864763 | 7,5148015 | 0,77815151 |
| 29 | 7,53284404 | 0,87952644 | 7,51455783 | 0,88525993 |
| 30 | 3,6507419 | 0,67397818 | 3,66764657 | 0,67936061 |

| Observ. N° | Valores T ² (165 obs.) | | Valores T ² (164 obs.) | |
|------------|-----------------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|
| | T ² 1 | T ² 2 | T ² 1 | T ² 2 |
| 31 | 6,25010212 | 0,67373306 | 6,32647016 | 0,68014331 |
| 32 | 6,26869499 | 0,83041766 | 6,28748507 | 0,8374622 |
| 33 | 5,87833896 | 0,7059531 | 5,84362771 | 0,71012004 |
| 34 | 3,396962 | 0,55830689 | 3,50998348 | 0,5647377 |
| 35 | 4,71046394 | 0,62866292 | 4,67724767 | 0,63238097 |
| 36 | 6,74318034 | 0,75426572 | 6,87901555 | 0,75305907 |
| 37 | 8,10660119 | 0,85926642 | 9,05964625 | 0,87426245 |
| 38 | 14,4818118 | 1,18396357 | 14,5667451 | 1,18892846 |
| 39 | 15,436066 | 0,95171367 | 15,3450153 | 0,95578869 |
| 40 | 4,40436218 | 0,73080382 | 4,41244 | 0,73268998 |
| 41 | 7,68979975 | 0,6766852 | 7,64682041 | 0,68115401 |
| 42 | 8,44189482 | 0,85840819 | 8,6356233 | 0,86856411 |
| 43 | 5,56641198 | 0,68654808 | 5,64065487 | 0,69472723 |
| 44 | 5,06934595 | 0,66344914 | 5,09018629 | 0,67046759 |
| 45 | 14,6956877 | 0,99189913 | 14,6372798 | 0,99912737 |
| 46 | 3,61542633 | 0,6485686 | 3,58756896 | 0,64983221 |
| 47 | 7,3186328 | 0,88081721 | 7,27162452 | 0,88564846 |
| 48 | 15,6527492 | 1,12283034 | 16,0863601 | 1,12372329 |
| 49 | 3,23896469 | 0,60112086 | 3,23877647 | 0,60495485 |
| 50 | 13,0063331 | 1,39794948 | 13,579225 | 1,41244447 |
| 51 | 9,42018438 | 0,27665762 | 9,3727219 | 0,27823635 |
| 52 | 15,9891457 | 1,1430936 | 17,403771 | 1,14142342 |
| 53 | 9,03814268 | 0,94959542 | 9,16992008 | 0,95805563 |
| 54 | 19,8476625 | 1,24146299 | 19,7227289 | 1,24831466 |
| 55 | 12,3946762 | 1,11078215 | 13,562476 | 1,12644998 |
| 56 | 1,20867979 | 0,26031604 | 1,19601814 | 0,25913464 |
| 57 | 12,0717278 | 1,07086116 | 12,0255726 | 1,08013354 |
| 58 | 6,72346923 | 0,93055194 | 6,77955087 | 0,93874306 |
| 59 | 7,3904298 | 0,9601646 | 7,50720643 | 0,9689353 |
| 60 | 7,03694793 | 1,00945747 | 7,16411762 | 1,01235441 |
| 61 | 6,09834359 | 0,82726911 | 6,18157024 | 0,83600791 |
| 62 | 10,7873024 | 1,00938287 | 10,7195539 | 1,01346482 |
| 63 | 5,26442214 | 0,73904634 | 5,23111435 | 0,74282423 |

| Observ. N° | Valores T ² (165 obs.) | | Valores T ² (164 obs.) | |
|------------|-----------------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|
| | T ² 1 | T ² 2 | T ² 1 | T ² 2 |
| 64 | 17,6416759 | 1,30125726 | 17,7233797 | 1,30679841 |
| 65 | 6,23998822 | 0,72185324 | 6,20018261 | 0,72657887 |
| 66 | 10,4082228 | 1,02251621 | 10,7794078 | 1,02174275 |
| 67 | 13,521179 | 1,31100219 | 14,034843 | 1,31072404 |
| 68 | 3,83915151 | 0,62017239 | 3,83281939 | 0,62208069 |
| 69 | 7,05000544 | 0,513041 | 7,00100581 | 0,51667578 |
| 70 | 5,52219273 | 0,32546302 | 5,48283118 | 0,33425206 |
| 71 | 7,19686462 | 0,85145948 | 7,43783422 | 0,85163781 |
| 72 | 10,2365692 | 1,08296278 | 11,3362064 | 1,09608467 |
| 73 | 6,03231703 | 0,87685104 | 6,02510174 | 0,88334656 |
| 74 | 8,84248454 | 0,99181073 | 9,06155639 | 0,99851586 |
| 75 | 12,1524191 | 1,24667202 | 12,1658844 | 1,25226389 |
| 76 | 6,29035241 | 0,84963183 | 6,72143855 | 0,84806239 |
| 77 | 4,69446409 | 0,88444579 | 4,70397347 | 0,89057699 |
| 78 | 8,22775292 | 0,93059515 | 8,28305181 | 0,93957397 |
| 79 | 2,76078443 | 0,48021867 | 2,80060781 | 0,47572322 |
| 80 | 8,35000831 | 0,88774658 | 8,31064128 | 0,89552261 |
| 81 | 3,73138542 | 0,44633556 | 3,70295986 | 0,45138382 |
| 82 | 9,42018438 | 0,27665762 | 9,3727219 | 0,27823635 |
| 83 | 12,1828904 | 1,13501767 | 13,3766019 | 1,13462334 |
| 84 | 3,2373352 | 0,67110384 | 3,66355805 | 0,68139419 |
| 85 | 3,12220308 | 0,48201842 | 3,15631573 | 0,48478202 |
| 86 | 4,2189294 | 0,68422175 | 4,18789348 | 0,68789122 |
| 87 | 11,2723382 | 0,94918338 | 11,895037 | 0,96120738 |
| 88 | 9,26323499 | 0,75447955 | 9,3153268 | 0,75818249 |
| 89 | 5,32320804 | 0,79782178 | 5,40143793 | 0,79877848 |
| 90 | 2,56113301 | 0,46514969 | 2,695424 | 0,47132852 |
| 91 | 3,39000445 | 0,49604937 | 3,39287997 | 0,49895783 |
| 92 | 10,5333416 | 1,04061146 | 11,0941124 | 1,05274379 |
| 93 | 6,6929198 | 0,71639254 | 6,7156843 | 0,71905358 |
| 94 | 2,70259641 | 0,54743269 | 2,68167785 | 0,54837295 |
| 95 | 14,3426114 | 1,39107977 | 14,6044838 | 1,39593657 |
| 96 | 9,35157198 | 0,90581391 | 9,31592492 | 0,91215248 |

| Observ. N° | Valores T ² (165 obs.) | | Valores T ² (164 obs.) | |
|------------|-----------------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|
| | T ² 1 | T ² 2 | T ² 1 | T ² 2 |
| 97 | 12,3699348 | 1,12427418 | 12,3084837 | 1,12908868 |
| 98 | 11,4637811 | 0,9710825 | 11,3880625 | 0,97729122 |
| 99 | 13,2061303 | 1,15726405 | 13,2897388 | 1,16152096 |
| 100 | 1,87578942 | 0,37671598 | 1,90915399 | 0,3725968 |
| 101 | 8,06701894 | 0,87339996 | 8,01200703 | 0,87853863 |
| 102 | 16,7998137 | 1,24492433 | 16,812861 | 1,25032363 |
| 103 | 9,04533591 | 0,79819447 | 8,99513881 | 0,80446145 |
| 104 | 9,68804774 | 1,20863629 | 9,70488616 | 1,21055587 |
| 105 | 5,7095352 | 0,75973298 | 5,79497937 | 0,76640433 |
| 106 | 14,1857219 | 1,08590325 | 14,8730021 | 1,0845872 |
| 107 | 7,58327728 | 0,7755076 | 7,53103357 | 0,78195149 |
| 108 | 7,40722559 | 0,87216477 | 7,46369316 | 0,87872414 |
| 109 | 6,36916104 | 0,63644348 | 6,87971646 | 0,63383008 |
| 110 | 6,55395084 | 0,91993836 | 6,54358378 | 0,92329581 |
| 111 | 3,70075921 | 0,57179759 | 3,68727929 | 0,57326921 |
| 112 | 7,8038478 | 1,00543624 | 8,27948804 | 1,01692463 |
| 113 | 16,4494889 | 1,30076647 | 16,4276363 | 1,30942253 |
| 114 | 9,49335167 | 0,98556539 | 9,74229465 | 0,99546604 |
| 115 | 8,52467462 | 0,94559683 | 8,88230134 | 0,94369178 |
| 116 | 6,97241789 | 1,02429944 | 7,16358877 | 1,0217731 |
| 117 | 2,83028316 | 0,57079224 | 2,82598292 | 0,57115125 |
| 118 | 4,86673927 | 0,62844512 | 5,10213553 | 0,63765558 |
| 119 | 3,37266239 | 0,73758089 | 3,35512634 | 0,73991777 |
| 120 | 12,7056005 | 1,41228846 | 12,6878909 | 1,4172312 |
| 121 | 7,01381233 | 0,87163529 | 7,56955285 | 0,88315721 |
| 122 | 14,0975488 | 0,85663216 | 14,6689818 | 0,86562059 |
| 123 | 3,73253342 | 0,52087042 | 4,00887951 | 0,52910243 |
| 124 | 8,66280016 | 0,56348401 | 8,69254796 | 0,56693003 |
| 125 | 8,55096208 | 0,89098005 | 8,50218173 | 0,8955961 |
| 126 | 3,73057975 | 0,53983782 | 3,73324526 | 0,53971423 |
| 127 | 6,73503659 | 0,78434708 | 6,73673789 | 0,78854563 |
| 128 | 15,4343817 | 0,68457266 | 15,9037404 | 0,69332782 |
| 129 | 5,7777869 | 0,77543749 | 5,7409062 | 0,77738789 |

| Observ. N° | Valores T ² (165 obs.) | | Valores T ² (164 obs.) | |
|------------|-----------------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|
| | T ² 1 | T ² 2 | T ² 1 | T ² 2 |
| 130 | 8,65863549 | 0,87063537 | 8,91216142 | 0,87134798 |
| 131 | 3,12561878 | 0,5126928 | 3,14952682 | 0,51166196 |
| 132 | 6,30441581 | 0,66879388 | 6,34744411 | 0,66639799 |
| 133 | 12,9139019 | 0,79737542 | 12,8961051 | 0,80406783 |
| 134 | 1,20867979 | 0,26031604 | 1,19601814 | 0,25913464 |
| 135 | 6,76868816 | 0,89720994 | 6,72362406 | 0,90364023 |
| 136 | 5,44480305 | 0,70114413 | 5,5772773 | 0,70054753 |
| 137 | 2,074203 | 0,46202117 | 2,25305381 | 0,47183103 |
| 138 | 5,10419337 | 0,83332551 | 5,33346079 | 0,84028299 |
| 139 | 17,3419268 | 1,32813847 | 17,7500585 | 1,33816518 |
| 140 | 8,50803536 | 0,80545198 | 8,45175761 | 0,81001728 |
| 141 | 10,9785047 | 0,63986337 | 10,9143854 | 0,6426424 |
| 142 | 3,00383014 | 0,4171899 | 3,02590241 | 0,41983841 |
| 143 | 9,62434379 | 0,34405753 | 9,88640951 | 0,35218554 |
| 144 | 19,9919563 | 1,37801512 | 20,8859313 | 1,38145159 |
| 145 | 4,1937419 | 0,53938463 | 4,16828995 | 0,54230537 |
| 146 | 9,97266362 | 0,89655857 | 9,92552834 | 0,89983864 |
| 147 | 10,4475127 | 0,9315994 | 10,3915559 | 0,9407215 |
| 148 | 4,55477153 | 0,77452814 | 4,65066853 | 0,78136145 |
| 149 | 12,8117344 | 1,10426858 | 12,7287516 | 1,11170544 |
| 150 | 5,95820813 | 0,71197461 | 5,91870797 | 0,71663016 |
| 151 | 4,56542434 | 0,67433943 | 4,53196612 | 0,67826651 |
| 152 | 4,6614044 | 0,70258429 | 4,66025991 | 0,7047088 |
| 153 | 7,57055871 | 0,66553934 | 7,54964749 | 0,66378507 |
| 154 | 6,38813955 | 0,72398713 | 6,45461211 | 0,7329108 |
| 155 | 10,4333158 | 1,09207234 | 10,5890475 | 1,10330855 |
| 156 | 7,61439071 | 0,83028597 | 8,03191748 | 0,84173998 |
| 157 | 10,2870514 | 1,03612597 | 11,5048297 | 1,04991292 |
| 158 | 1,45215747 | 0,35861467 | 1,53035443 | 0,36658266 |
| 159 | 1,61985058 | 0,44581535 | 1,60550297 | 0,44573104 |
| 160 | 8,39821008 | 0,81927022 | 8,39471628 | 0,82231814 |
| 161 | 13,7051324 | 1,15462097 | 14,0280526 | 1,16508363 |
| 162 | 9,9235879 | 1,07409246 | 10,1351813 | 1,07828519 |

| Observ. N° | Valores T ² (165 obs.) | | Valores T ² (164 obs.) | |
|------------|-----------------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|
| | T ² 1 | T ² 2 | T ² 1 | T ² 2 |
| 163 | 5,28431311 | 0,65605747 | 5,29311007 | 0,66306108 |
| 164 | 9,07466469 | 0,81957631 | 9,12876234 | 0,83049787 |
| 165 | 6,24352719 | 0,54536877 | 6,22958683 | 0,55033909 |

Fuente: elaboración propia

Tabla A4.3. Coeficientes de componentes principales (CP) para el total de observaciones

| Nº Obs. | CP-1 | CP-2 | CP-3 | CP-4 | CP-5 | CP-6 | CP-7 | CP-8 | Distancia Mahalanobis |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|
| 1 | -0,4396 | -0,8383 | 0,0399 | 0,6945 | 0,8108 | 2,2380 | -0,5770 | -0,9461 | 4,2623 |
| 2 | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| 3 | 1,2338 | 1,1290 | 0,4576 | -0,5188 | 0,2761 | 0,1933 | 0,5991 | -0,0778 | 1,8919 |
| 4 | 0,3036 | 0,7918 | 0,1679 | 0,6496 | -0,2081 | -0,6068 | -0,1271 | 0,3431 | 1,5979 |
| 5 | 0,5806 | -0,9987 | 0,7604 | 0,6299 | 0,7126 | -0,0104 | -0,0867 | 0,0274 | 1,9140 |
| 6 | -2,2848 | 1,3297 | -0,3655 | -0,2459 | -0,0305 | -0,3676 | -0,2920 | -0,1064 | 2,1093 |
| 7 | -0,9948 | -0,3615 | 0,3366 | -0,7069 | -0,8292 | -0,0749 | 0,1223 | -0,2366 | 1,6859 |
| 8 | -0,8369 | 1,9998 | 0,4578 | 0,1862 | -0,4827 | -0,1844 | 1,1018 | -0,7547 | 3,2110 |
| 9 | -0,4969 | -0,1541 | 0,9879 | -0,6898 | 1,1167 | -0,8235 | -0,3533 | -0,6632 | 2,7735 |
| 10 | 1,4346 | 0,7102 | -0,6181 | -0,5427 | -1,0221 | -0,0064 | 1,0512 | 1,0020 | 3,1491 |
| 11 | -2,5990 | 0,9060 | 0,7520 | -0,1656 | 0,1817 | -0,1263 | -0,3812 | -0,0451 | 2,1113 |
| 12 | 1,8549 | 0,9463 | 0,3522 | -0,5964 | -0,2332 | 1,3727 | -0,3178 | -0,3477 | 2,7883 |
| 13 | -2,7517 | -0,1644 | 0,0536 | -0,0326 | -0,3280 | 1,1723 | -0,7083 | 0,5090 | 2,8426 |
| 14 | 0,0527 | 0,4849 | -0,4494 | 0,3253 | 0,5945 | 0,8258 | -0,0668 | 0,2852 | 1,8093 |
| 15 | 0,0883 | -1,3307 | 0,4430 | 0,6807 | -0,9056 | 1,7254 | -0,2824 | -0,5856 | 3,5627 |
| 16 | -1,6346 | 0,3496 | 0,3028 | 1,6921 | -0,3115 | -0,7204 | -0,0436 | -0,6197 | 2,8427 |
| 17 | -3,7675 | -0,5685 | -0,8372 | 0,3321 | 0,4883 | -0,0046 | 0,5339 | -0,0797 | 2,7395 |
| 18 | -1,5559 | 0,8427 | 0,3707 | 0,2000 | 0,9982 | -0,6602 | 0,1248 | -0,6172 | 2,4614 |
| 19 | 0,8503 | 0,7735 | 0,1972 | 0,2296 | 0,2014 | -0,1745 | -0,0749 | -0,0096 | 1,0656 |
| 20 | 3,6185 | 2,1062 | 0,3264 | -0,0432 | -0,2900 | 0,0041 | 0,0783 | -0,0201 | 3,0615 |
| 21 | -1,2632 | 1,0364 | 1,3215 | 1,0593 | -0,0231 | -0,7284 | 0,2582 | -0,2738 | 2,6855 |
| 22 | 0,4608 | 0,2689 | -0,2269 | 0,0874 | 0,2856 | 0,1069 | -1,3733 | -0,8638 | 2,7618 |
| 23 | -1,0866 | 0,1990 | -0,5864 | -0,2703 | -0,3046 | 0,5841 | 0,3719 | 0,4493 | 1,7257 |
| 24 | 1,8759 | 1,4586 | 1,8046 | -0,6503 | 0,1399 | -0,7057 | 0,4973 | -0,1061 | 3,1410 |
| 25 | -2,3715 | -0,6535 | -0,0113 | 1,5328 | 0,3208 | 0,6727 | 0,4113 | -0,4395 | 2,9056 |
| 26 | -0,3014 | 0,2186 | -0,0399 | -0,2386 | 0,1251 | -1,1163 | 0,5857 | 0,1195 | 1,8516 |
| 27 | -0,4529 | -0,0685 | 0,4506 | 0,5043 | -0,7221 | 0,3240 | 0,7405 | -0,1396 | 1,8283 |
| 28 | -0,4319 | -0,9534 | 0,4753 | 1,3958 | -0,0582 | 0,4254 | -0,7152 | -0,6168 | 2,7413 |
| 29 | 0,5119 | -1,5146 | 0,6728 | -0,6795 | -0,0595 | 0,0266 | -1,0823 | 0,5011 | 2,7413 |
| 30 | 1,1592 | -0,2185 | -1,2977 | 0,4820 | 0,3218 | -0,4547 | 0,0775 | -0,0855 | 1,9151 |

| Nº Obs. | CP-1 | CP-2 | CP-3 | CP-4 | CP-5 | CP-6 | CP-7 | CP-8 | Distancia Mahalanobis |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------------|
| 31 | 0,4081 | 0,7622 | -0,1994 | -0,4549 | 0,6368 | 0,6987 | -1,0003 | -0,5180 | 2,5152 |
| 32 | 0,7108 | -1,3269 | 0,9973 | 0,0070 | 0,1480 | -0,7544 | -0,3660 | -0,6013 | 2,5075 |
| 33 | 1,8021 | -0,0638 | 0,4654 | -0,9885 | 0,3163 | -1,1522 | 0,2952 | -0,2227 | 2,4174 |
| 34 | -0,4373 | 0,5362 | 0,2922 | -0,4088 | 0,5533 | 0,7641 | -0,4851 | 0,2736 | 1,8735 |
| 35 | 0,1892 | 0,3321 | 0,6384 | -1,0525 | 0,4779 | 0,2131 | 0,5796 | 0,5844 | 2,1627 |
| 36 | -0,3656 | -1,0071 | -0,7779 | -0,1302 | -1,0258 | 0,7039 | 0,0785 | 0,7128 | 2,6228 |
| 37 | -0,2745 | 0,3804 | 0,3118 | 1,4306 | 0,4577 | -0,2940 | -1,3289 | 0,5320 | 3,0099 |
| 38 | 1,6261 | -0,7743 | 0,8343 | -2,1671 | -0,2796 | -0,0826 | -1,2446 | -0,6779 | 3,8166 |
| 39 | 0,4010 | -0,1693 | 0,0541 | -0,6011 | -0,7369 | -1,3338 | -0,8352 | 1,5734 | 3,9173 |
| 40 | 1,4618 | -0,9385 | -0,3688 | -0,1404 | -0,2887 | 0,9362 | 0,3830 | 0,0863 | 2,1006 |
| 41 | 1,0182 | 0,5207 | -1,0880 | 0,1546 | -0,5015 | 0,1662 | -0,0048 | 1,1917 | 2,7653 |
| 42 | -0,9281 | -0,5172 | 1,7500 | 0,5037 | -0,1517 | -0,7893 | -0,5515 | 0,6797 | 2,9386 |
| 43 | -0,8078 | -0,1146 | 1,0669 | -0,1185 | 0,6074 | -1,0520 | 0,6498 | -0,0510 | 2,3750 |
| 44 | -0,1096 | 0,0307 | 0,4363 | -0,8809 | 1,0181 | -0,1013 | 0,8553 | 0,1982 | 2,2561 |
| 45 | -0,8464 | -0,7584 | -0,4211 | -0,0150 | 0,6175 | 1,6105 | 1,3710 | 0,8638 | 3,8259 |
| 46 | -0,5735 | 1,1844 | -0,1232 | -0,5457 | 0,0352 | 0,4394 | -0,0728 | 0,5522 | 1,8941 |
| 47 | 3,2479 | -0,4628 | -0,6758 | 0,5752 | -0,1939 | -0,4716 | 0,8184 | 0,4015 | 2,6966 |
| 48 | -1,1681 | -1,2626 | -0,3641 | -0,4576 | -1,6106 | -2,0247 | -0,3031 | -0,0723 | 4,0108 |
| 49 | -2,2547 | 0,4189 | -0,7399 | -0,0298 | 0,1714 | -0,4197 | -0,2397 | -0,1229 | 1,7997 |
| 50 | 2,9170 | -1,4450 | 2,0885 | 0,7490 | 0,7922 | 0,4632 | -0,0010 | 0,0878 | 3,6850 |
| 51 | 3,6185 | 2,1062 | 0,3264 | -0,0432 | -0,2900 | 0,0041 | 0,0783 | -0,0201 | 3,0615 |
| 52 | -0,3352 | -1,3398 | -0,4159 | -1,0699 | -1,4450 | 0,0621 | 1,0581 | -1,3969 | 4,1718 |
| 53 | 2,4511 | -0,2634 | -0,8754 | 0,4418 | 0,6763 | -1,1937 | -0,5325 | -0,6268 | 3,0282 |
| 54 | -1,7718 | -0,7139 | -0,8082 | -1,7615 | 1,2642 | -1,3229 | 1,5708 | 0,4434 | 4,4410 |
| 55 | -1,3758 | 0,1577 | 1,4132 | 2,0739 | 0,7165 | 0,4472 | 0,4547 | 0,7259 | 3,6827 |
| 56 | 0,2594 | 0,1274 | -0,1592 | -0,2889 | -0,0596 | -0,0109 | -0,3348 | -0,4454 | 1,0936 |
| 57 | 1,4829 | -1,1008 | 1,1020 | 0,9312 | 0,1580 | 0,4969 | 1,1657 | -0,9303 | 3,4678 |
| 58 | 2,0775 | -1,1241 | 0,5666 | 0,5187 | -0,0951 | 0,1284 | -0,9576 | -0,4707 | 2,6038 |
| 59 | 3,3020 | -0,2820 | -0,7695 | 1,1876 | 0,0859 | -0,4800 | -0,4790 | 0,0114 | 2,7399 |
| 60 | 1,4814 | -1,5978 | 0,5463 | -1,3048 | -0,4820 | -0,2621 | -0,2784 | -0,1776 | 2,6766 |
| 61 | -0,0070 | 1,3101 | -1,1776 | -0,5030 | 0,9986 | -0,2723 | -0,1679 | 0,1837 | 2,4863 |
| 62 | 0,1595 | -0,9772 | -0,4767 | -1,8577 | 0,9559 | -0,8029 | 0,0171 | -0,6353 | 3,2741 |
| 63 | 1,7245 | -0,8468 | 0,0137 | -0,0400 | 0,1723 | -0,4330 | 0,7667 | -0,6853 | 2,2872 |

| Nº Obs. | CP-1 | CP-2 | CP-3 | CP-4 | CP-5 | CP-6 | CP-7 | CP-8 | Distancia Mahalanobis |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------------|
| 64 | 0,2785 | 0,7747 | 2,4167 | -0,5381 | -1,0717 | 1,6460 | 0,5357 | 0,1859 | 4,2099 |
| 65 | 0,3261 | 0,6570 | -0,9441 | 0,7036 | -0,5462 | -1,0244 | 0,3122 | 0,5480 | 2,4900 |
| 66 | -0,1657 | 1,5328 | 0,7804 | -0,1831 | -1,5868 | -1,0635 | -0,0762 | -0,3742 | 3,2832 |
| 67 | -1,7661 | 1,5235 | 0,4074 | -1,6684 | -0,7609 | -1,4645 | 0,6331 | -0,1431 | 3,7463 |
| 68 | 0,3528 | -0,8681 | -0,4712 | -0,6616 | 0,3933 | -0,6505 | -0,6157 | -0,1309 | 1,9578 |
| 69 | 2,1151 | 0,9523 | 0,6293 | -0,6799 | 0,0139 | 0,0798 | 0,1450 | 0,9931 | 2,6459 |
| 70 | 3,6563 | 0,9604 | -0,1446 | 0,2287 | -0,0360 | -0,0615 | 0,1441 | -0,0408 | 2,3415 |
| 71 | 0,8800 | -1,0195 | -0,4556 | -0,0789 | -0,8694 | 1,1046 | 0,8263 | 0,0396 | 2,7272 |
| 72 | 2,1084 | 0,2175 | -1,2977 | 1,2035 | 1,5951 | -0,0422 | -0,2082 | 0,4015 | 3,3669 |
| 73 | 3,7007 | -0,3882 | -0,6990 | 0,5487 | 0,2629 | -0,1386 | 0,2214 | -0,0651 | 2,4546 |
| 74 | -0,3431 | 1,5112 | 1,4765 | -0,2644 | 0,3276 | 0,0467 | -1,0573 | 0,4527 | 3,0102 |
| 75 | -3,6368 | 0,7722 | -2,0869 | -0,6159 | -0,0625 | -0,4950 | 0,2892 | -0,1989 | 3,4880 |
| 76 | 0,5793 | -1,1821 | -0,5189 | -0,7510 | -0,9288 | 0,8832 | 0,4832 | -0,0142 | 2,5926 |
| 77 | 3,0587 | -0,9490 | 0,1621 | -0,2277 | 0,3669 | -0,2135 | -0,2844 | -0,0811 | 2,1689 |
| 78 | -0,9820 | 0,8536 | -1,5767 | -0,4458 | 0,9079 | -0,4571 | -0,6482 | -0,4249 | 2,8780 |
| 79 | -0,2928 | -0,8531 | -0,6159 | -0,0140 | -0,4408 | 0,1061 | 0,1601 | -0,5083 | 1,6735 |
| 80 | 0,3753 | 0,8979 | 1,2482 | 0,9058 | -0,7732 | -1,1145 | -0,4376 | -0,1569 | 2,8828 |
| 81 | 1,2813 | 0,6079 | 0,4975 | 0,2788 | -0,3037 | -0,6971 | -0,0111 | -0,5844 | 1,9243 |
| 82 | 3,6185 | 2,1062 | 0,3264 | -0,0432 | -0,2900 | 0,0041 | 0,0783 | -0,0201 | 3,0615 |
| 83 | 1,3289 | -1,0728 | -1,2251 | -1,3257 | -1,3622 | 0,1972 | -0,0425 | -0,9882 | 3,6574 |
| 84 | 0,5806 | -0,9987 | 0,7604 | 0,6299 | 0,7126 | -0,0104 | -0,0867 | 0,0274 | 1,9140 |
| 85 | -0,5138 | -0,6258 | -0,8674 | -0,1161 | 0,4366 | 0,3358 | 0,0311 | 0,5196 | 1,7766 |
| 86 | 0,8542 | -0,2529 | -1,4063 | 0,5291 | 0,0207 | -0,0441 | 0,1349 | -0,4594 | 2,0464 |
| 87 | -0,9446 | -0,3012 | -0,8687 | -0,5556 | 2,0979 | -0,7626 | -0,0610 | -0,4066 | 3,4489 |
| 88 | 1,2907 | 1,1450 | -0,6868 | 0,4315 | -0,3246 | 0,4352 | 1,5782 | -0,1396 | 3,0521 |
| 89 | 1,0268 | -0,6384 | -1,4432 | -0,2412 | -0,7037 | 0,1704 | -0,5855 | 0,0575 | 2,3241 |
| 90 | -0,1693 | -0,7822 | -0,0318 | 0,6254 | 0,3582 | 0,4266 | 0,3569 | 0,3165 | 1,6418 |
| 91 | -0,8287 | -1,2198 | 0,5723 | 0,4398 | -0,3166 | -0,4423 | -0,0861 | 0,2170 | 1,8420 |
| 92 | 1,6313 | 0,1794 | -1,0905 | 1,3280 | 1,2398 | -1,0148 | 0,6815 | 0,1042 | 3,3308 |
| 93 | 2,9927 | 0,1445 | -0,4719 | -1,1808 | -0,0705 | -0,5864 | -0,6040 | -0,1703 | 2,5915 |
| 94 | -0,0600 | 1,1493 | 0,0136 | -0,5380 | 0,0776 | 0,3921 | -0,4298 | -0,0430 | 1,6376 |
| 95 | -3,2305 | 1,1091 | -1,8278 | -1,3971 | 0,0249 | -0,1089 | 1,0032 | -0,2716 | 3,8216 |
| 96 | 0,7911 | -0,4258 | -1,5806 | 0,0814 | -0,1752 | -0,1046 | -1,1272 | 0,8655 | 3,0522 |

| Nº Obs. | CP-1 | CP-2 | CP-3 | CP-4 | CP-5 | CP-6 | CP-7 | CP-8 | Distancia Mahalanobis |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------------|
| 97 | -0,7214 | 1,0849 | -0,4395 | -1,7325 | 0,5483 | 1,5873 | -0,0294 | 0,1964 | 3,5083 |
| 98 | 0,4029 | -0,1567 | -1,4179 | -0,0925 | 0,7215 | -0,4573 | 1,7131 | 0,4148 | 3,3746 |
| 99 | 0,3594 | -1,8652 | 0,8058 | -1,2056 | -0,9208 | -0,2904 | -1,2788 | -0,4975 | 3,6455 |
| 100 | -0,4968 | -0,1888 | 0,3742 | -0,1828 | -0,5225 | 0,2915 | 0,0590 | -0,4581 | 1,3817 |
| 101 | 0,9436 | -0,3396 | -1,3079 | -0,7639 | 0,8800 | -0,6235 | 0,6850 | -0,5939 | 2,8305 |
| 102 | -0,3824 | 1,3249 | -1,4242 | -1,2594 | -0,4723 | 1,4787 | -1,0321 | 0,7920 | 4,1003 |
| 103 | 1,4508 | 0,9304 | -1,0049 | -0,6677 | 0,0943 | 0,5208 | -1,3600 | 0,3749 | 2,9992 |
| 104 | -2,2222 | 2,0182 | -0,0148 | 0,2135 | -0,7594 | 0,0883 | 0,0466 | -0,8005 | 3,1153 |
| 105 | -0,4944 | 1,1679 | 0,8166 | 0,2289 | 0,4395 | -0,3581 | 0,7842 | 0,6096 | 2,4073 |
| 106 | -1,9689 | -1,8191 | 0,1173 | -1,1305 | -1,6844 | 0,7757 | -0,0121 | 0,6298 | 3,8566 |
| 107 | 1,3929 | 0,4825 | 1,6015 | -0,5367 | -0,1767 | 0,8704 | 0,1325 | 0,5542 | 2,7443 |
| 108 | -2,3827 | 0,7405 | -0,0650 | 0,8584 | -0,2562 | 0,5689 | -0,9089 | -0,4802 | 2,7320 |
| 109 | 1,3864 | 0,7180 | -0,7399 | -0,5107 | -1,0642 | 0,5931 | 0,7701 | 0,3635 | 2,6229 |
| 110 | 2,3499 | -1,1577 | -0,0464 | -0,8368 | -0,0953 | 0,1145 | -0,5507 | -0,6351 | 2,5580 |
| 111 | 0,3539 | 0,5814 | -0,1056 | -1,0673 | 0,3570 | 0,7070 | 0,2971 | -0,1279 | 1,9202 |
| 112 | 1,9370 | -0,7255 | 0,7881 | 1,4243 | 0,5905 | -0,9118 | 0,3707 | -0,0070 | 2,8774 |
| 113 | 0,0664 | -1,8276 | 1,5481 | -1,8358 | 0,9708 | -0,8820 | -0,0678 | 0,6486 | 4,0531 |
| 114 | 2,3780 | -0,8890 | 0,5848 | 0,6381 | 0,6076 | 0,3880 | 0,6301 | 1,0620 | 3,1213 |
| 115 | -2,3399 | -0,0962 | 0,8309 | -0,0222 | -1,7893 | -0,0892 | -0,0914 | -0,1717 | 2,9803 |
| 116 | -3,3149 | 0,7461 | 0,0940 | -0,7828 | -1,0059 | -0,0486 | -0,2209 | 0,0582 | 2,6765 |
| 117 | -0,6218 | 0,0618 | 1,1711 | -0,2829 | -0,5039 | -0,1499 | 0,2781 | 0,1930 | 1,6811 |
| 118 | 0,0248 | -0,3949 | -0,5277 | 1,0644 | 0,5283 | -0,3449 | -0,1317 | -0,7376 | 2,2588 |
| 119 | -1,7777 | 0,8169 | 0,9955 | 0,0865 | -0,2209 | 0,1090 | 0,0712 | -0,0937 | 1,8317 |
| 120 | -4,7279 | 1,3781 | 1,3111 | -0,3858 | 0,0001 | -0,0201 | -0,4724 | 0,0317 | 3,5620 |
| 121 | -2,8024 | 0,3660 | 1,2973 | 0,9437 | 0,3571 | -0,0359 | -0,5854 | 0,0786 | 2,7513 |
| 122 | -0,4833 | -0,7558 | -0,0245 | 0,2362 | 0,8876 | -0,8943 | -0,2556 | 1,7405 | 3,8300 |
| 123 | -0,5652 | -0,4464 | -0,7925 | 0,3593 | 0,8079 | -0,2154 | -0,5176 | -0,4055 | 2,0022 |
| 124 | -4,3008 | -0,6513 | -0,9409 | 0,1180 | 0,3201 | -0,4277 | -0,2314 | -0,0806 | 2,9483 |
| 125 | -2,3296 | 0,0304 | 1,4479 | -0,1561 | -0,0116 | 0,4291 | 0,9698 | 0,5880 | 2,9159 |
| 126 | 0,9331 | 0,9664 | 0,3943 | -1,1909 | 0,2167 | -0,0281 | 0,2560 | -0,1316 | 1,9322 |
| 127 | 2,0862 | -0,0728 | 1,2967 | -1,1487 | -0,3305 | -0,5568 | -0,1574 | 0,3901 | 2,5955 |
| 128 | -3,5087 | -1,2660 | 0,5475 | 0,0053 | 0,5358 | -0,6135 | -0,8335 | 1,3708 | 3,9879 |
| 129 | 0,8261 | -1,0909 | -0,4448 | -0,7597 | -0,2717 | -0,2147 | -0,9931 | 0,4398 | 2,3960 |

| Nº Obs. | CP-1 | CP-2 | CP-3 | CP-4 | CP-5 | CP-6 | CP-7 | CP-8 | Distancia Mahalanobis |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------------|
| 130 | 0,8673 | -0,9722 | -0,0667 | 0,0393 | -0,6858 | -0,4283 | 1,5520 | -0,4901 | 2,9853 |
| 131 | -1,1441 | 0,2187 | -0,2949 | 0,2554 | -0,5703 | -0,5352 | 0,2554 | -0,5573 | 1,7747 |
| 132 | -0,8328 | -1,1633 | 0,1398 | 0,0245 | -0,6981 | -0,6251 | 0,9162 | 0,5488 | 2,5194 |
| 133 | -3,1357 | -1,1361 | 0,7337 | 0,3205 | 0,5874 | 0,4170 | 1,4974 | -0,4694 | 3,5911 |
| 134 | 0,2594 | 0,1274 | -0,1592 | -0,2889 | -0,0596 | -0,0109 | -0,3348 | -0,4454 | 1,0936 |
| 135 | 1,1476 | -1,3622 | 0,7487 | -0,0601 | -0,0765 | 1,1774 | 0,2938 | 0,1476 | 2,5930 |
| 136 | 0,2678 | 0,8026 | -0,9660 | -1,0020 | -0,3854 | -0,3658 | -0,5606 | -0,5320 | 2,3616 |
| 137 | 0,0194 | 0,4680 | -0,3420 | 0,7529 | 0,2273 | 0,3462 | -0,4761 | 0,0426 | 1,5010 |
| 138 | -1,8860 | 0,9354 | 0,8709 | -0,4968 | 0,7989 | -0,1778 | -0,4754 | 0,0088 | 2,3094 |
| 139 | 0,7304 | -1,3167 | 0,5789 | -1,9650 | 1,9261 | -0,1384 | -1,0387 | 0,2235 | 4,2131 |
| 140 | 0,5646 | -0,8219 | -0,3469 | 0,8864 | -0,8332 | -0,4370 | -0,0886 | 1,1540 | 2,9072 |
| 141 | 2,8421 | 2,0082 | 0,1764 | -0,2483 | -0,5417 | -0,6152 | -1,0529 | -0,0112 | 3,3037 |
| 142 | -1,1470 | -0,5274 | -0,8794 | 0,4208 | 0,2272 | -0,0470 | -0,0743 | -0,4523 | 1,7395 |
| 143 | -4,6457 | -1,1163 | 0,2857 | 0,2061 | 0,5530 | -0,1628 | -0,3293 | -0,0133 | 3,1443 |
| 144 | -1,4983 | -0,8194 | -1,8002 | 0,4600 | -2,6593 | -0,3931 | -0,6748 | 0,3106 | 4,5701 |
| 145 | 0,3741 | 0,2463 | -0,2118 | -0,2714 | 0,2180 | 0,6855 | 1,0553 | 0,2222 | 2,0416 |
| 146 | 2,1439 | -0,5500 | -1,0404 | -0,3007 | -0,0613 | -0,4441 | 0,7132 | 1,2132 | 3,1505 |
| 147 | 0,0622 | 0,1985 | -0,1740 | 1,3852 | -1,2632 | -0,1495 | -1,1671 | 0,6132 | 3,2236 |
| 148 | -1,1754 | 0,9151 | 1,1180 | -0,3355 | 0,7025 | -0,0496 | 0,2736 | -0,2872 | 2,1565 |
| 149 | 1,1644 | -0,2039 | -0,9342 | 1,8102 | -0,7773 | -1,3206 | 0,8584 | 0,0245 | 3,5677 |
| 150 | 0,2595 | 0,2284 | 1,0251 | 0,0713 | -0,6549 | -1,2169 | -0,4559 | -0,2516 | 2,4328 |
| 151 | 0,5052 | 1,6685 | -0,8637 | 0,0665 | -0,0416 | 0,4104 | -0,0117 | -0,0408 | 2,1288 |
| 152 | 0,2098 | 1,6199 | -0,8486 | 0,0838 | -0,3395 | 0,1932 | 0,3776 | 0,2636 | 2,1588 |
| 153 | -2,1145 | -0,7838 | -1,0612 | 0,1018 | -0,7386 | -0,2961 | -0,0703 | 0,8781 | 2,7477 |
| 154 | 0,1763 | 0,6423 | 0,6842 | -0,3154 | 0,9779 | 0,1457 | 1,1726 | 0,2601 | 2,5406 |
| 155 | -0,6241 | 1,1533 | -0,2399 | 2,2320 | -0,5668 | 0,4548 | -0,3737 | 0,1530 | 3,2541 |
| 156 | -1,9379 | -0,1198 | -1,0407 | 1,8031 | 0,3648 | -0,2904 | -0,0176 | 0,0068 | 2,8341 |
| 157 | 0,7051 | -0,3879 | -0,0352 | 1,8284 | 1,0759 | 1,0395 | -0,6402 | -0,3387 | 3,3919 |
| 158 | 0,2708 | 0,4011 | -0,2975 | 0,3502 | 0,3389 | 0,5613 | -0,0345 | -0,0057 | 1,2371 |
| 159 | -1,4335 | 0,3298 | -0,4965 | 0,2223 | -0,2312 | -0,1844 | 0,2126 | -0,1714 | 1,2671 |
| 160 | 0,1876 | -0,7892 | -0,2968 | 1,1101 | -0,9981 | -0,4104 | 0,1253 | -0,9811 | 2,8974 |
| 161 | 0,1844 | -0,0252 | -2,0653 | -0,2633 | 1,3812 | 1,0642 | -0,9267 | 0,1163 | 3,7454 |
| 162 | 1,0264 | -1,6187 | 1,0772 | 0,0214 | -1,1386 | 0,2487 | 1,0854 | 0,1418 | 3,1836 |

| Nº Obs. | CP-1 | CP-2 | CP-3 | CP-4 | CP-5 | CP-6 | CP-7 | CP-8 | Distancia Mahalanobis |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------------|
| 163 | -0,1192 | 0,0448 | 0,3126 | -0,8511 | 1,0149 | 0,5265 | 0,5234 | -0,4801 | 2,3007 |
| 164 | 2,2889 | 0,7023 | 0,7041 | 1,3643 | -0,6029 | -0,7479 | -0,4761 | 0,6022 | 3,0214 |
| 165 | 3,2630 | 0,4652 | -0,4745 | 0,3982 | -0,3393 | 0,4622 | 0,2466 | -0,5491 | 2,4959 |

Fuente: elaboración propia
